

# L'AUDIOPHILE



N°4

Avril 1978  
prix 17 f

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**



# Le tweeter ionique Realon

## Quand le tweeter perd sa membrane...

*Jean Hiraga*

*Le tweeter ionique n'est pas un transducteur révolutionnaire. Bien sûr, son succès commercial n'a été qu'éphémère. Ephémère non pas pour une question de qualité sonore (et de loin !) mais plutôt pour une question de fiabilité que les constructeurs n'ont pas considéré réussi à maîtriser à l'époque. Mais la construction d'un transducteur n'utilisant aucune partie mécanique vibrante a toujours tenté les nombreux inventeurs du monde entier.*

*William Duddell, un anglais, réputé pour ses travaux en électroacoustique parvenait, dès 1935 à tirer des sons aigus d'un arc électrique, système qu'il surnomma par la suite (fig. 1) «Speaking Arc», l'Arc Parlant. Bien sûr, il existait déjà à l'époque de nombreuses idées et dépôts de brevets pour des transducteurs électromécanoacoustiques les plus variés (fig. 2) tels que le Frénophone, le Johnsen Rahbeck, le Barlow, the Thermophone, le Voigt (électrostatique push-pull), le Mac Lachlan (dynamique à membrane plane et bobine mobile en zig zag fixé sur la membrane). Mais personne n'avait encore pensé à cet idéal : produire des sons sans l'aide de support mécanique. Cependant, l'expérience de William Duddell, resta oubliée de presque tous, sauf du Français Siegfried KLEIN. Celui-ci réalisa en 1950 un microphone électronique ionique (voir figure 3) qui, réversible, donnait naissance au fameux Ionophone. La figure 3 montre la coupe du microphone de Klein et la figure 4 la modification apportée pour la version tweeter.*

## PRINCIPE

Un volume d'air est ionisé par l'effet Corona dû à un champ haute fréquence (20 à 30 MHz) de tension élevée (5000 à 20000 V) ionisant l'air inclus dans un petit tube de quartz. Ce champ haute fréquence est modulé en amplitude par le signal basse fréquence à reproduire. La modulation crée une variation de température du gaz contenu dans la cellule qui se traduit par une variation de pression par dilatation de l'air, qui engendre donc des ondes acoustiques correspondant à la modulation.

Le tweeter ionique peut être considéré comme un transducteur quasi parfait, car il ne comporte aucune partie mécanique et n'a donc aucune inertie.

Cependant pour les premiers tweeters ioniques réalisés de façons commerciales les défauts n'étaient pas absents.

## DEFAUTS DES PREMIERS TWEETERS IONIQUES

### Interférence

1 - Le premier et le plus important sont les interférences avec les signaux radio et télévision qui peuvent se trouver fortement perturbés, même à 100 m de distance. Quelques améliorations ont atténué cet effet, car n'oublions pas de dire que le tweeter ionique est aussi un véritable émetteur haute fréquence. Les meilleures réalisations perturbent encore les signaux de télévision à 10 m de distance.

2 - **Durée de vie du tube de Quartz.** Celle-ci est en moyenne de 500 à 1000 heures pour les produits commercialisés entre 1952 et 1960. Le remplacement ne pouvait s'effectuer que par retour à l'usine de l'appareil.

3 - **Durée de vie de l'électrode centrale.** Pour les appareils commercialisés - l'ionophone de la firme Audax, l'ionovac américain, l'ionofane anglais - la température à l'extrémité de l'électro-

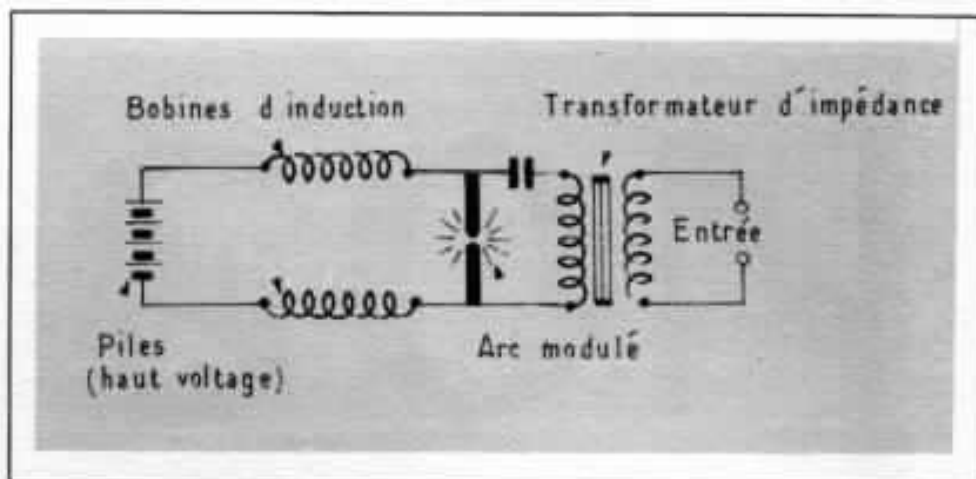


Fig. 1 - Tweeter à arc parlant inventé par William Duddell vers 1935.

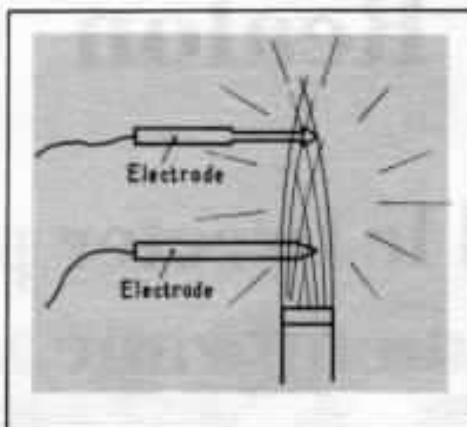


Fig. 2 : Tweeter à gaz utilisant un bec Bunsen et travaillant à température élevée. On peut en trouver la réalisation pratique dans quelques revues américaines de 1960.

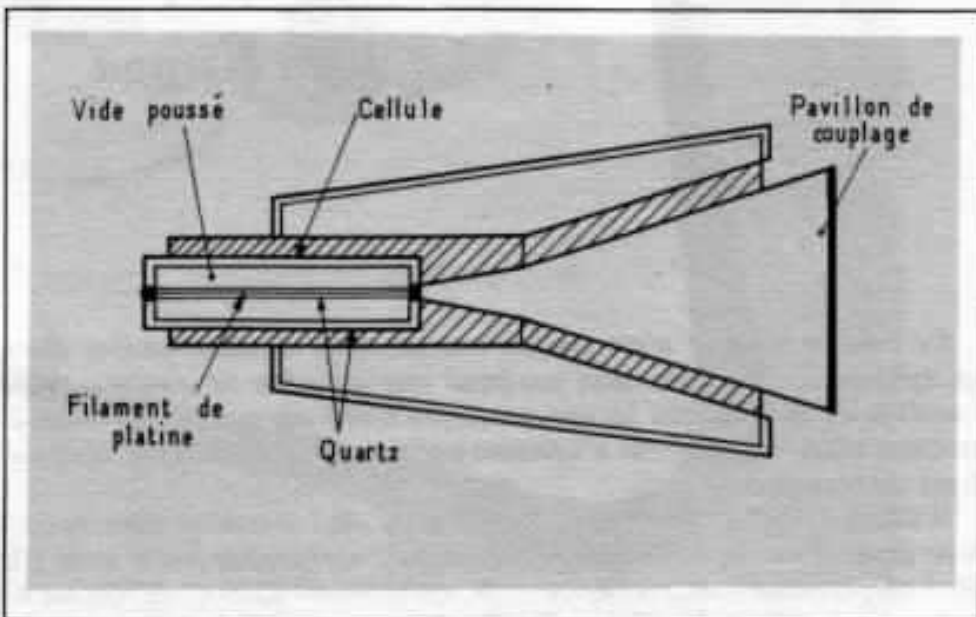


Fig. 3 - Le premier microphone ionique de Siegfried KLEIN. A l'époque ses défauts dont son bruit de fond élevé le rendaient inutilisables. Il fut ensuite proposé comme tweeter par la firme Audax, puis par les firmes Ionovac et Fane (USA et G.B.) (d'après Transducteurs Electroacoustiques, R. Lehmann, Chiron).

de est comprise aux environs de 800°C. Il se produit une évaporation ou fusion lente de l'électrode qui va modifier l'intensité du champ électrique et de ce fait agira sur l'homogénéité du plasma. Le dépôt métallique résultant de cette évaporation provoquera également soit une fissure du quartz, soit des pertes diélectriques intenses. Malgré les métaux utilisés aucun constructeur n'est arrivé à quelque chose de bien stable et fiable. Platine, molybdène, tantale, alliages ont été utilisés sans succès.

#### 4 - Instabilité des composants.

L'échange de chaleur au niveau de la cellule et aussi celui provoqué par le tube oscillateur (en général le tube 6DQ6A, 6DQ6B ou équivalent), rend instable cet oscillateur en particulier à cause de l'instabilité des condensateurs, du quartz (fuites diélectriques, vibrations des armatures à très haute fréquence).

#### 5 - Défauts de linéarité du pavillon.

Sur les ionophones, le pavillon était toujours utilisé en raison du rendement trop faible sans pavillon. De plus les constructeurs, pour élargir la réponse en fréquence vers le bas, employaient des pavillons d'ouverture relativement grande entraînant une certaine coloration. (Certains donnent par le calcul une fréquence de coupure aussi basse que 1000 Hz). Mécaniquement non amortis, ils limitaient aussi la qualité résultante.

**6 - Quartz.** Fait en deux parties, ce quartz porté à haute température voit ses pertes diélectriques augmenter et devenir instables. Ceci a pour effet d'augmenter la distorsion par effet de scintillement du plasma ionique (sans signal). L'ensemble étant un condensateur travaillant à haute température ses qualités électriques

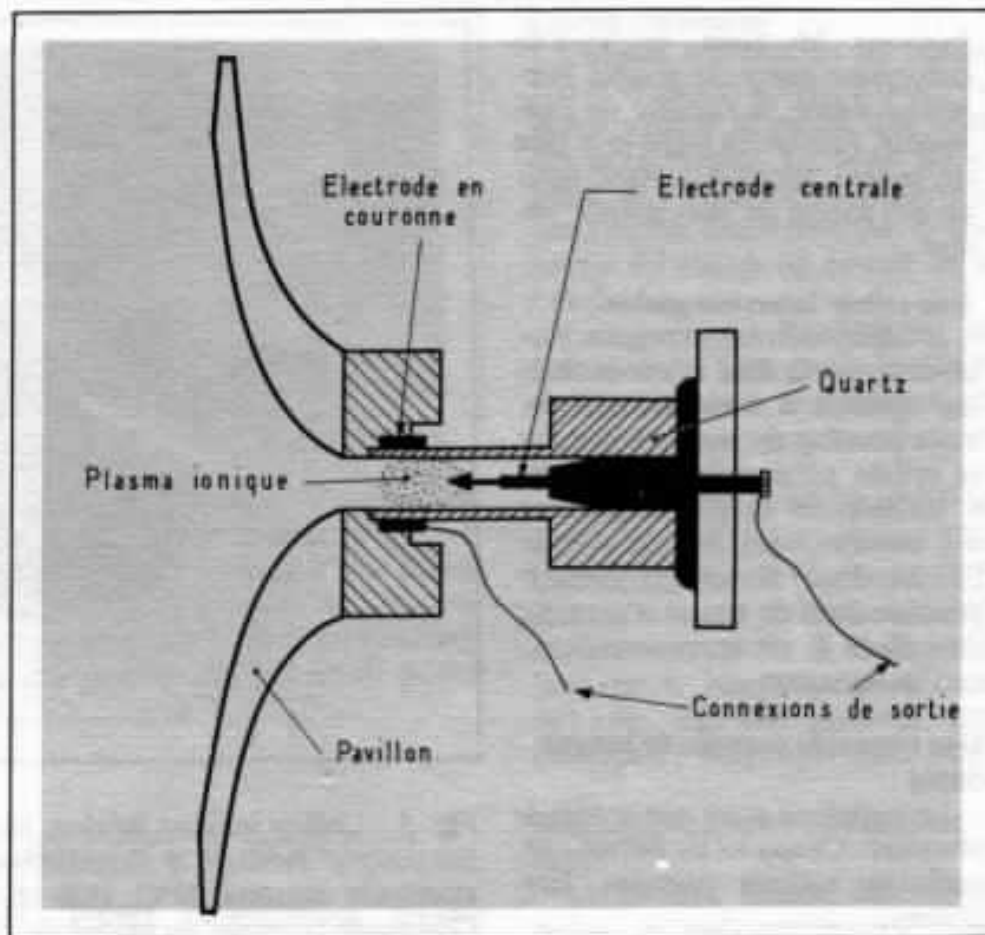


Fig. 4 - Vue en coupe d'un tweeter ionique Ionofane de la firme Fane Acoustics (Grande Bretagne).

vont donc jouer un rôle primordial dans la qualité finale.

Des défauts tels que fiabilité et rayonnement sont certainement à l'origine de l'échec commercial des premiers tweeters ioniques. De plus les qualités des matériels de reproduction, disques, phonolecteurs n'étaient pas en rapport avec les performances requises par l'ionophone.

### LE TWEETER IONIQUE REALON

La firme Réalon, abréviation du mot Réal Onkyo (Onkyo veut dire en japonais «acoustique»), est une firme encore très jeune : tout juste quelques mois. Son directeur, Mr Hata, un «Charlin made in Japan» anime dynamiquement l'équipe d'ingénieurs de

la maison et construit des appareils de petite série tels que le préamplificateur S.R.P.P. (pratiquement identique au circuit décrit dans l'Audiophile N° 2), un amplificateur 2 x 50 W à transistors, une enceinte à tweeter électrostatique Réalon (tweeter simple effet de très haut rendement) et le dernier né : le tweeter ionique Réalon...

Un sculpteur connu à qui on demandait comment il arrivait à faire des statues d'un naturel aussi surprenant répondait : c'est très simple, j'enlève tout le superflu de pierre qu'il y a autour.

Pour les sons aigus et son tweeter ionique Mr Hata et son équipe méritent sans aucun doute la même réponse. Contrairement aux japonais trop préoccupés par la présentation de la face avant d'un amplificateur ou du brillant des

boutons, Mr Hata, lui ne s'en préoccupe guère, la qualité subjective finale, la fiabilité de l'ensemble, l'entretien facile et le prix de revient abordable étant pour lui des atouts de plus grande valeur...

#### Une cellule interchangeable

Il fallait bien sûr y penser. Accessible par la face avant et fixée par système à baïonnette il devient possible de retirer à la main la cellule pour réglage éventuel. C'est le point le plus important du tweeter, qui fait d'ailleurs l'objet d'un brevet. Il devient possible aussi de passer d'un type de cellule à un autre (pavillon, etc) instantanément.

#### Une électrode centrale de longue durée

Le problème n'est pas simple à résoudre. Citons ici les défauts de quelques métaux pouvant être utilisés :

**Platine** : Prix très élevé. Température de fusion 1755°C. S'oxyde très peu. Son défaut pour l'usage requis ici est de s'évaporer très lentement et de déposer une couche métallique sur l'intérieur des parois du tube de quartz.

**Osmium** : Prix élevé et très fragile. Se casse très facilement sous un faible choc. Fusion 2700°C.

**Tungstène** : Excellentes performances sous vide poussé mais se détruit par évaporation dans l'air ambiant. Inutilisable. Température de fusion : 3387°C.

**Ruthénium** : Fusion 2250°C. Prix très élevé et fragile. Difficile à se procurer en barres de faible diamètre.

**Carbone** : S'évapore très facilement sous ionisation. Fusion 3550°C. Inutilisable.

**Rénium** : Prix élevé, difficile à se procurer en barres. Fusion 3180°C.

**Kanthal** : Alliage de haute fusion. Ne peut, malgré ses performances sous vide, être utilisé ici (fusion partielle rendant l'extrémité de l'électrode poreuse). Fabriqué en Suède.

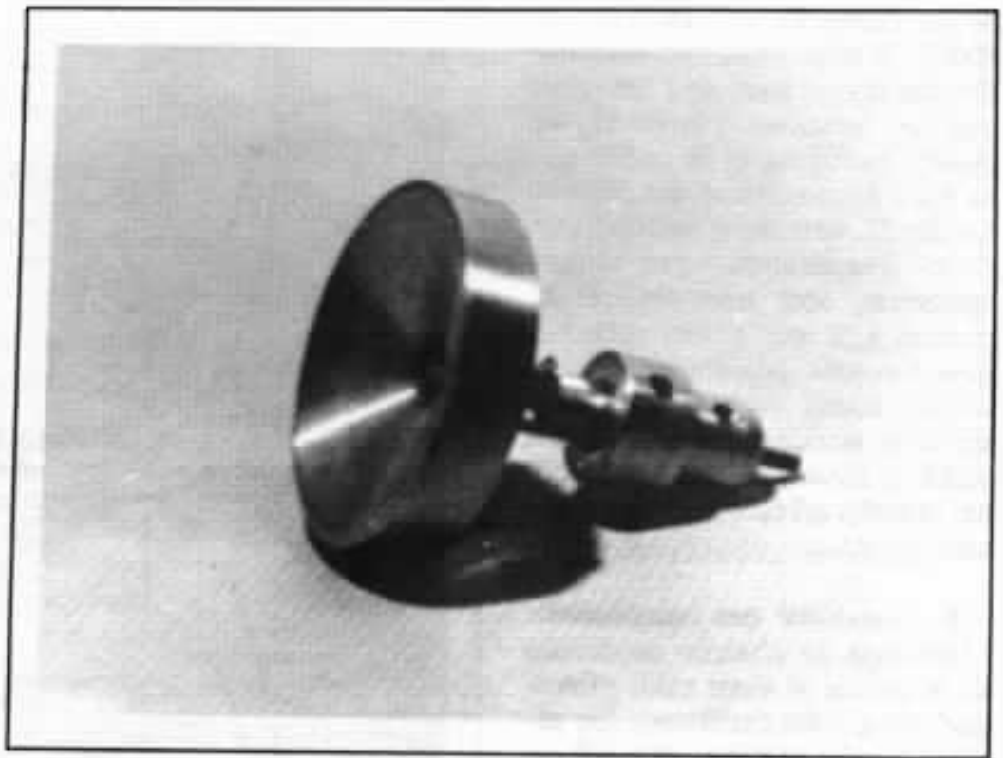


Fig. 5 - Cellule ionique Réalon, modèle courant. La fixation se fait par baïonnette. Pendant le fonctionnement, la température de la couronne extérieure dépasse 70°C, celle du tube de quartz 700°C et celle de l'électrode centrale, au centre de 1700°C. L'ionisation se fait en forme de tore de couleur bleue pâle avec son centre blanc et brillant, autour de l'électrode centrale.

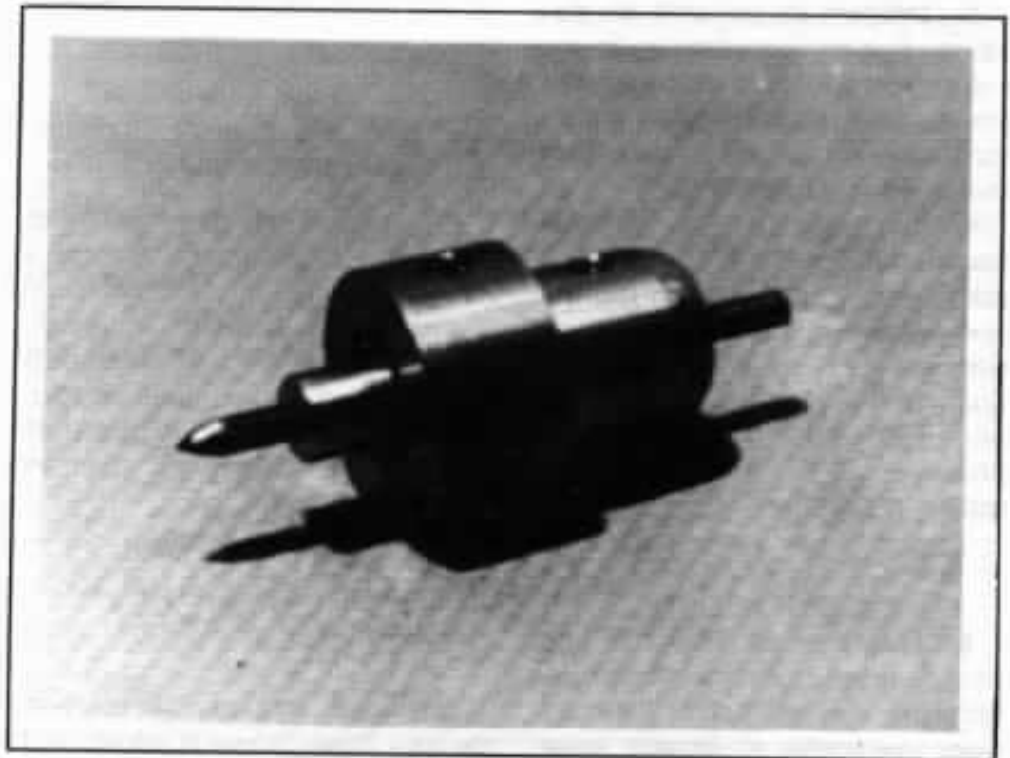


Fig. 6 - Electrode principale. En cas d'usure il est possible de régler la longueur de celle-ci (serrage par vis et clé à six pans).

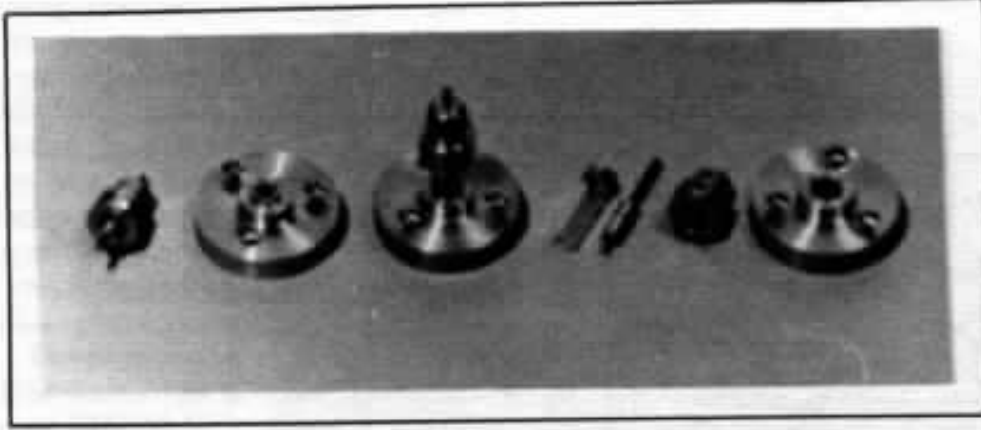


Fig. 7 - De gauche à droite : 1 - électrode principale, 2 - électrode de type «à air», 3 - ensemble complet (cellule ionique avec tube quartz, modèle normal), 4 - tube de quartz avec embout entouré d'une bande de mumétal, 5 - électrode centrale démontée, 6 - support de l'électrode centrale, 7 - bague extérieure (démontable par l'avant du tweeter). Noter que 2, électrode «à air» utilise une portion très courte de quartz (tube de 3 mm de longueur).

**Alliage Réalon :** Température de fusion 2600°C. Il est fabriqué spécialement pour cette firme. Il est à base de molybdène, de silicium, d'iridium et de quelques autres métaux. Bien plus important que l'alliage même la *méthode de fabrication* de cet alliage joue directement sur la vie de l'électrode au travail.

Selon Mr Hata, la fusion et le refroidissement se ferait sous mouvement de rotation très rapide pour rendre la partie extérieure résistante à l'évaporation.

Bien entendu, la durée de vie en est ainsi prolongée et une usure partielle est peu gênante : il suffit d'avancer l'électrode de 1 ou 2 mm (se fait à l'aide d'une petite clé à six pans). Cette électrode est également disponible séparément, ainsi que le tube de quartz, ceci à un prix très abordable (moins que la moitié du prix d'un disque).

**Quartz.** Il a fait aussi l'objet de recherches intenses. Depuis le tube de cristal utilisé sur les appareils de chauffage électrique jusqu'aux quartz de prix élevé. Les qualités requises sont :

- Excellente caractéristique diélectrique sous haute température

(600 à 800°C en permanence).

- Pertes diélectriques *stables* sous haute fréquence et haute température.

- Durée de vie aussi longue que possible. En général les verres pyrex, cristaux et quartz deviennent poudreux, friables et très cassants après un long usage.

Le quartz, choisi après de longs essais permet d'accéder à ces performances souhaitées. Dû aux progrès technologiques, il est certain que s'il avait pu être utilisé sur les ionophones des années 50, le sort de ces appareils aurait été bien plus favorable. Sa longueur totale est de 35 mm, son diamètre extérieur de 7,5 mm et l'épaisseur de la paroi 0,9 mm. Son seul défaut est d'être assez cassant ce qui rend sa découpe difficile (outils au diamant, découpe sous l'eau). Pour le serrage et montage sur les électrodes, de fines bandes de mumétal sont utilisées et font effet de coussin. Car n'oublions pas que sous cette température de travail, il faut tenir compte du coefficient de *dilatation* du quartz et des *électrodes* et ne pas les manier avant refroidissement total (décentrage, casse du quartz, etc).

### Circuit oscillateur

Comme le montrent les figures 5 et 6, le circuit utilisé, à tubes est pratiquement le même que celui des antécédents. La seule différence est l'adoption de condensateurs de très haute stabilité, et une astuce du circuit au niveau de la cellule.

Ceci permet à l'oscillateur, ici composé du tube pentode 6DQ5 de travailler avec le maximum de stabilité à une fréquence de l'ordre de 25 MHz.

Ce tube 6DQ5 est modulé en amplitude par son écran relié à un transformateur de rapport 1 : 33, dont le primaire est de 8 ohms. Ce transformateur est la seule pièce limitant la bande passante. De 100 kHz ici, elle pourrait être étendue à 1 MHz sans difficulté.

### Précautions contre les parasites émis.

Le tweeter Réalon est sur ce point exceptionnellement bien réalisé, puisque même à 1,50 m un téléviseur avec antenne intérieure n'arrive pas à capter les parasites émis. Pour cela de nombreux filtres anti parasites, blindages en mumétal, selfs sont utilisés. De plus l'alimentation est intégrée à l'ensemble, pour éviter tout rayonnement. Le coffret, de dimensions 15 x 20 x 25 cm est muni d'une grille double pour permettre aussi un bon dégagement de chaleur.

### Tube 6DQ5

Son prix est abordable et, contrairement aux produits commercialisés jusqu'ici, son courant écran a été sérieusement réduit pour augmenter la vie du tube.

### Tweeter REALON : un allumage manuel

Ceci peut sembler bien curieux. Mais il faut dire qu'un allumage automatique s'accompagne obligatoirement d'une évaporation partielle de l'électrode au moment de l'allumage ainsi qu'un courant transitoire d'allumage

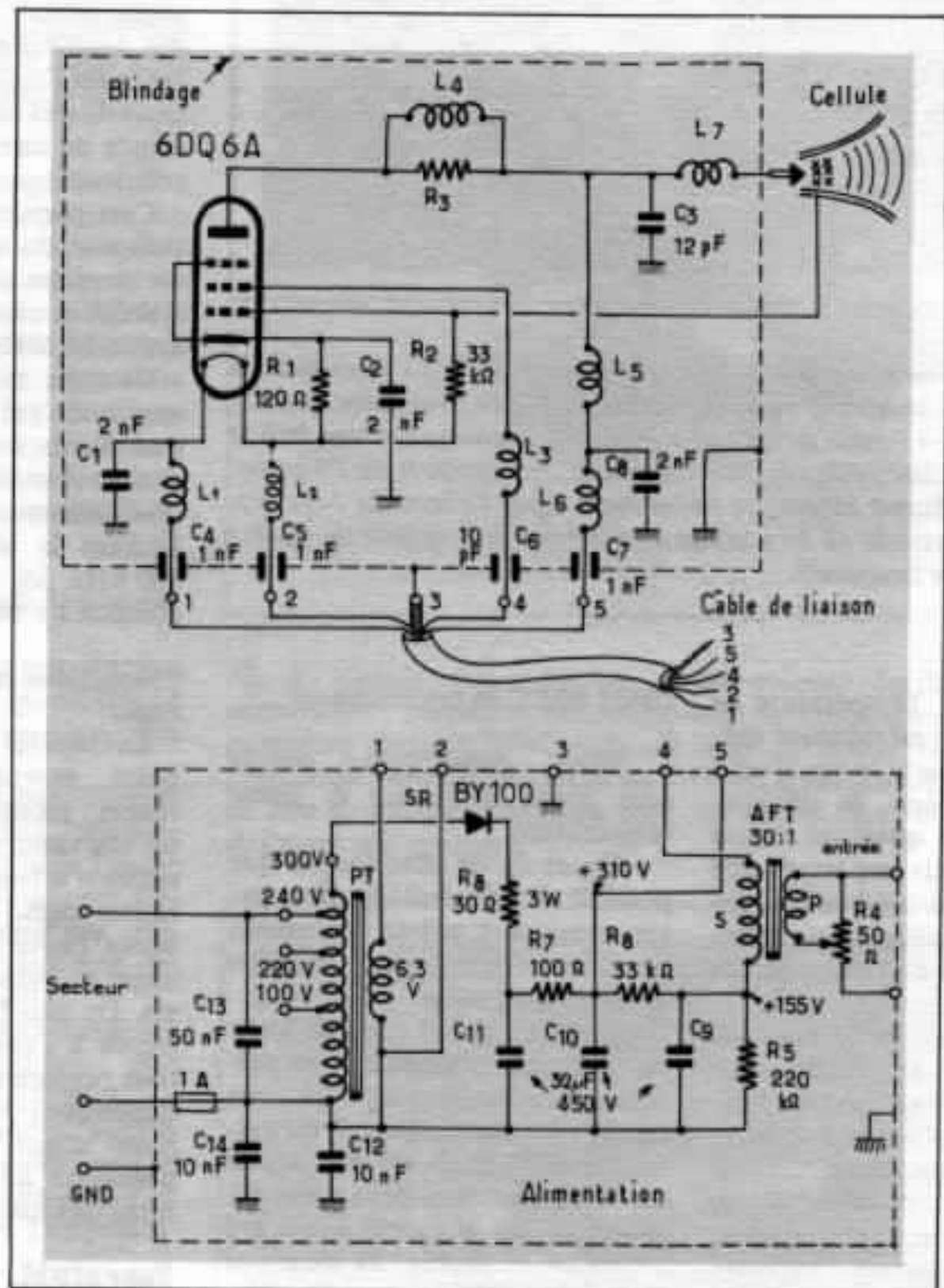


Fig. 8 - Circuit électronique du tweeter anglais Ionofane. Remarquer que le circuit de haute tension est pris à partir du primaire, ce qui augmenterait les risques d'émissions de signaux parasites. Dans ce circuit,  $C_3$ ,  $L_7$ ,  $L_5$  et la capacité de la cellule (environ 1 pF) jouent sur la stabilité de l'oscillation, encore insuffisante dans ce circuit.  $C_3$  doit être de haute qualité et les meilleurs condensateurs au mica ou céramiques H.F. d'isolement 20000 V sont encore insuffisants. La fabrication d'un tel tweeter ne pose que peu de difficultés mais la plus grosse difficulté à surmonter est d'en faire quelque chose de stable dans le temps.

élevé, réduisant à la longue la durée de vie du tube. L'allumage manuel, effectué à l'aide d'une électrode isolée, de même constitution que l'électrode centrale, est très simple : il suffit de placer cette électrode dans le tube de quartz et de la retirer. Pourriez-vous allumer les tweeters ? ne sera donc plus une phrase absurde.

Consommation : celle-ci est d'environ 120 W par tweeter, sous 100/110 V.

### Une innovation : la suppression du pavillon

Comme dit plus haut, tous les produits commercialisés jusqu'ici rendent nécessaire l'usage du pavillon, pour augmenter le rendement. Ceci se traduit automatiquement par une coloration (sauf si les pavillons sont très bien étudiés) et une caractéristique de directivité moins bonne. En supprimant sur de tels appareils le pavillon, le niveau maximum admissible (à la limite de l'extinction du plasma ionique) est trop faible pour être utilisable. La perte de niveau rend alors audible le bruit propre de la cellule gênant sur ces appareils. Réalon est la première maison offrant un rendement aussi élevé malgré l'absence de pavillon : 95 dB/m/w, sans pavillon. Ceci se traduit par une caractéristique de directivité exceptionnelle car il devient possible de déplacer verticalement, latéralement le tweeter sans ressentir de perte de niveau. Au niveau de la cellule et de son extrémité, il s'agit donc d'une véritable portion de *sphère pulsante*, un idéal recherché par les chercheurs du monde entier

### Une autre innovation : la cellule «à air»

Certains initiés pourraient penser que le petit tube de quartz pourrait tout de même, puisque fermé à une extrémité provoquer une résonance, vu la capacitance acoustique et l'impédance acoustique  $Z_a$  du côté ouvert, serait, pour une condition donnée :

$$Z_a = \frac{j\rho c}{\pi R^2} \cotg kl$$

avec

$R$  = rayon

$l$  = longueur du tube

$k$  = rapport  $\frac{2\pi(\pi)}{\lambda}$  (lambda)

$c$  = vitesse du son

$\rho$  = densité de l'air

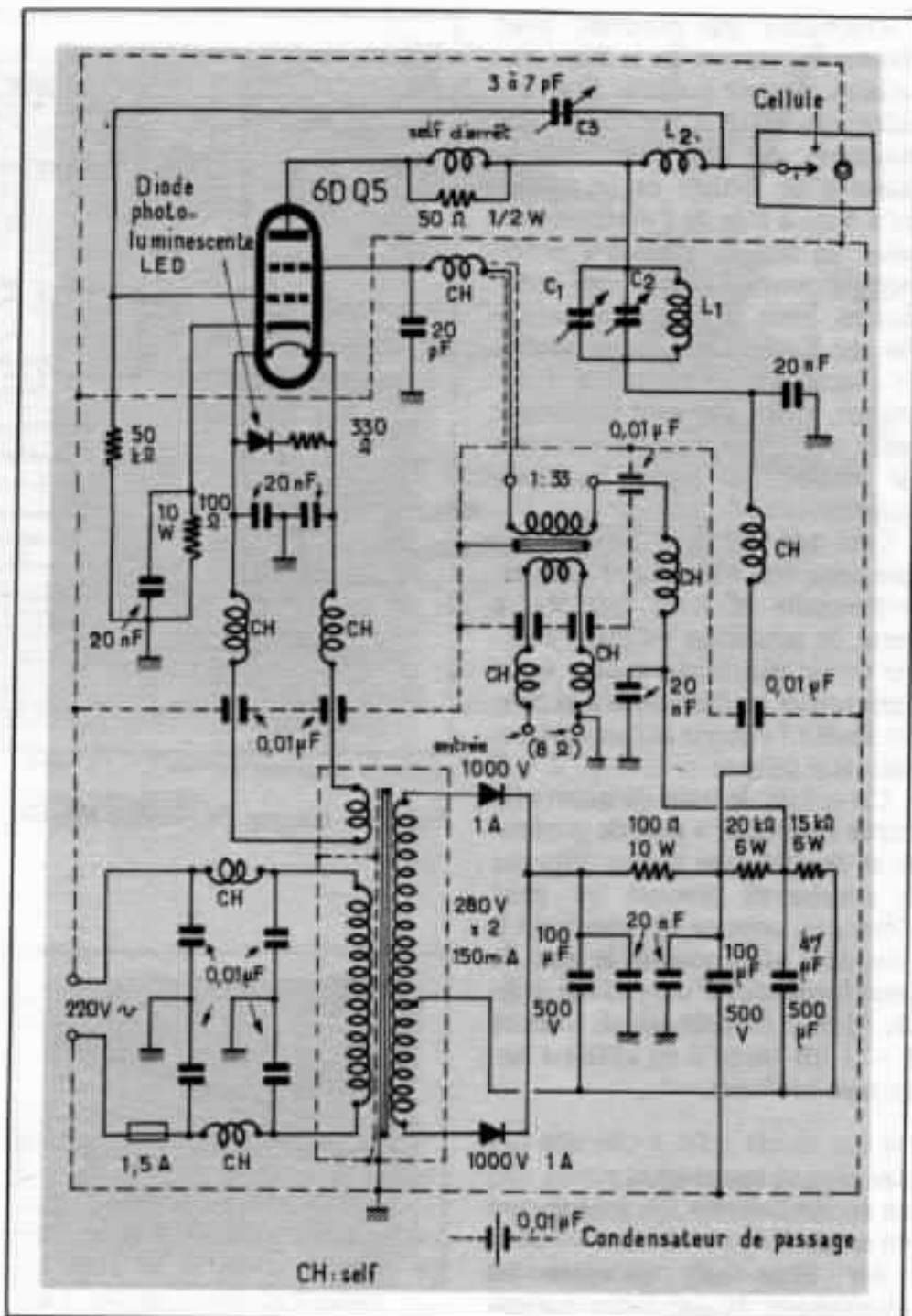
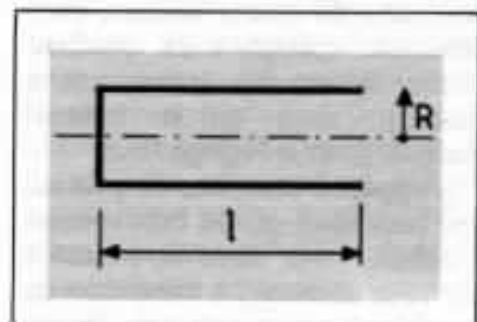


Fig. 9 - Circuit de l'oscillateur du tweeter Réalon.



Résonance qui pourrait, tout comme le principe de la flûte traversière, devenir audible. Pour réduire cet effet à un minimum inaudible, on doit noter que la masse d'air ionisée ne se trouve qu'à 5 ou 6 mm de l'extrémité du tube, au lieu de *plusieurs centimètres*, pour les réalisations antérieures. Mais la cellule démontable par l'avant à la main permet de placer une autre cellule (voir photo), dite *à air*, tout justement parce que l'ionisation se fait sous air ambiant et *entre* les deux quartz au lieu de *dedans*.

Ceci apporte une caractéristique cette fois totalement omnidirectionnelle et aussi une légère perte de sensibilité vu que l'énergie totale distribuée à part égale dans toutes les directions à la fois. En réalité l'énergie acoustique totale est la même.

Cette fois, le tube de quartz (la partie avant) de 3 mm de profondeur devient sans aucun effet sur la courbe de réponse qui peut s'étendre, comme dit plus haut à plus de 2 MHz suivant le type de transformateur d'impédance utilisé. Mais le modèle utilisé, linéaire à -1 dB jusqu'à 60 kHz est largement suffisant.

#### Encore une innovation :

un appareil disponible monté ou en kit !

Mr Hata sait qu'après les nombreuses études faites, sa cellule et certains composants utilisés, dont un condensateur de capacité 5 pF, sont *inimitables*. Cependant, il met à la disposition du public tout son «know-how» en rendant disponible toutes les pièces détachées : cellules, électrodes, tube de quartz spécial, condensateur spécial, selfs, condensateurs de passage (traversant le chassis), ainsi qu'un manuel complet pour le réglage final.

L'appareil complet, de prix un peu plus élevé qu'un bon tweeter à ruban, peut aussi être monté par tout amateur, à condition de posséder les pièces principales es-

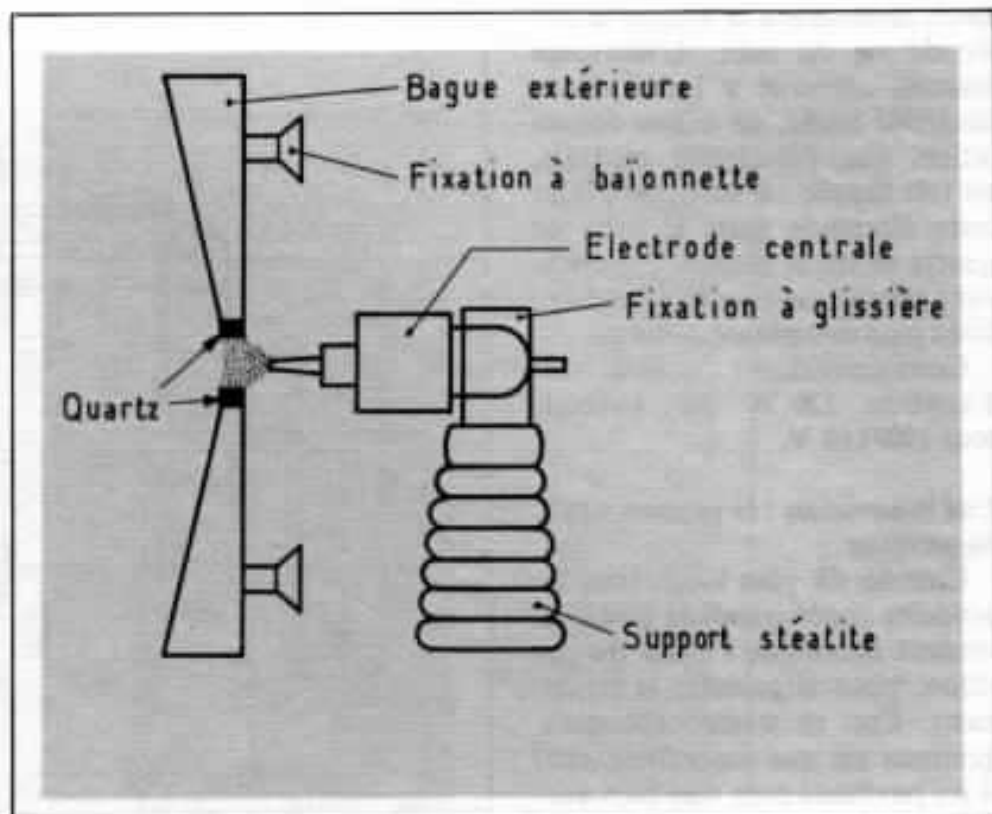


Fig. 10 - Coupe du tweeter Réalon.

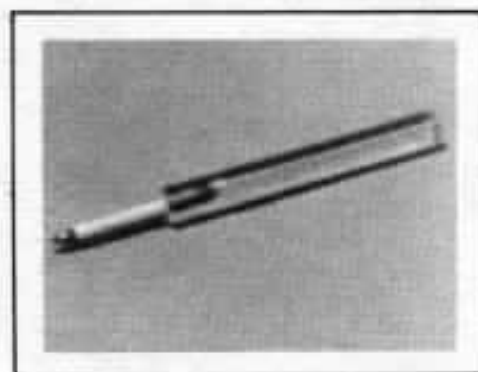


Fig. 11 - Starter de démarrage. Le métal est le même que celui de l'électrode centrale. C'est une pièce indispensable : un autre métal apporterait par fusion immédiate des pertes diélectriques au quartz.

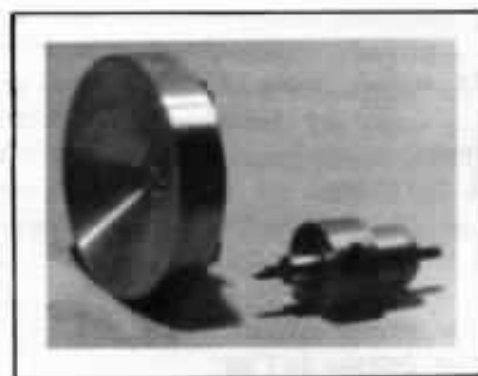


Fig. 12 - Cellule «à air». Elle permet, pour une légère perte de niveau d'obtenir une caractéristique de directivité omnidirectionnelle.



sentielles : cellule, en premier lieu, self série, condensateur de haut-voltage et faibles pertes H.F. isolement 30000 volts, composants de prix abordable puisque la cellule seule ne représente même pas la dépense d'un phonolecteur de prix moyen.

Les intéressés peuvent s'adresser (en anglais ou français) à REAL ONKYO, 4-4-16 Ueno-Dori, Nada-Ku, 657 KOBE-CITY, Japan, pour tous renseignements.

#### Autres détails

Le bruit de fond de la cellule est inaudible, même à 5 cm de celle-ci. Le dégagement d'air ionisé est faible sur le tweeter Réalon et ne provoque aucune gêne. Il n'existe aussi aucun rayonnement dangereux tels que les rayons X.

Le tweeter ne possède aucun filtre passe haut en entrée (8 ohms) ce qui permet d'ajouter à volonté soit un filtre, soit un atténuateur à impédance constante (cas où le médium est de rendement moyen, soit l'attaque directe d'un amplificateur (multiamplification et filtre actif précédent l'amplificateur). Vu le rendement élevé l'atténuateur à impédance constante (vaut au Japon le prix de trois potentiomètres courants) est la plupart du temps à insérer dans le circuit d'entrée.

#### Qualités subjectives

C'est avant tout, quelque chose de bien supérieur aux réalisations précédentes. Et c'est bien entendu, quelque chose d'extraordinaire. En effet, quelques minutes d'écoute suffisent à faire comprendre qu'aucune membrane, pièce vibrante ne pourrait reproduire avec tant de liberté d'expression une variété aussi infinie de sons aigus sans aucune trace de coloration : son doux ou dur, fin, léger ou bien ferme et cinglant et surtout caractéristique si omnidirectionnelle que le tweeter vient se fondre totalement avec le médium et le grave, ceci même en



Fig. 13 - Tweeter ionique Réalon. C'est le premier sans pavillon et de haut rendement.

montant le niveau de ce tweeter. En général, à niveau anormalement élevé, le tweeter devient directionnel et se détache nettement du reste de la masse sonore, ce qui n'est pas le cas du Réalon.

En comparaison des «étalons» tels que les Onken OS 5000T ou les fameux Kato, (valant au Japon par paire le prix d'une voiture) bien que de valeur exceptionnelle, sont, du point de vue coloration inférieurs. Ils présentent par contre l'avantage d'être encore plus métalliques sur les sons «métalliques» mais ceci est au détriment des sons très doux, et aussi l'avantage d'un niveau admissible un peu plus élevé que le Réalon.

Mais un autre avantage du Réalon est de pouvoir descendre très bas (vu la qualité de l'extrême ai-

gu) soit 800 à 1000 Hz ce qui est peu commun pour un tweeter ionique. Ceci est obtenu grâce à un contrôle parfait du volume d'air ionisé et aussi de la température dans la cellule, au niveau de l'électrode, porté à quelques 800° plus haut que les tweeters ioniques du passé (1750°C pour le Réalon).

Un seul regret : pour quand les *microphones ioniques*, vu que c'est encore le point apportant le maximum de coloration ? Mais Mr Hata y pense depuis plusieurs mois et risque, s'il lance après mise au point parfaite d'un microphone ionique de bouleverser le marché des microphones étalons et de très haute qualité. Mais n'est-ce pas ce qu'il faudrait ajouter pour mettre en valeur la gravure directe ?

**Page non  
disponible**

# Le sillon et la pointe de lecture

*Pierre Gilotaux*

*Mis à part quelques spécialistes, peu nombreux sont ceux qui ont conscience de l'importance de la pointe de lecture. On pense généralement qu'il suffit de laisser traîner une pointe quelconque dans le sillon pour recueillir un déplacement mécanique qui reflète fidèlement le signal gravé dans le sillon. Or il n'en est rien. En effet, le graveur est muni d'un burin tranchant qui non seulement découpe la laque mais, en plus, oscille latéralement et verticalement selon le signal audio. Les arêtes tranchantes du burin sont très aiguisées et peuvent être assimilées à un plan sans épaisseur. Le seul moyen de lire correctement la gravure serait d'utiliser un burin identique, ce qui est évidemment impossible car on détruirait le disque par la même occasion. On est donc obligé de recourir à des formes de pointes plus ou moins arrondies : sphériques - elliptiques - de façon à augmenter la surface de contact avec le sillon afin de diminuer la pression, pression infinie dans le cas du burin dont les arêtes sans épaisseur ont une surface théoriquement nulle. Le manque d'identité entre l'outil graveur et l'outil lecteur est à l'origine de la plupart des défauts de la gravure mécanique, nous en reparlerons plus loin.*

## HISTORIQUE

Ce n'est qu'à la fin de l'ère du 78 tours que sont apparus les lecteurs relativement légers - 30 grammes de force d'appui - permettant l'emploi de saphirs de 75 microns de rayon de pointe. Avant, la lecture était faite avec des pointes en acier qui étaient extrêmement pointues, la pointe acquérant un ou deux «plats» sous l'effet de l'abrasion produite

après quelques tours du disque. Il s'établissait alors un équilibre entre l'abrasion et la diminution considérable de la surface de contact due au «plat». Ceci permettait d'aller, plutôt mal que bien, jusqu'à la fin du disque (durée 5 mn). Il semble maintenant évident que ce système d'usure était absolument aberrant si l'on se place au strict point de vue de l'identité de forme entre l'outil graveur et l'outil lecteur.

Fort heureusement, à l'époque, la limite des plus hautes fréquences était de 5 ou 6 kHz, pour atteindre 8 kHz à la fin de l'ère du 78 tours.

Cet état de choses n'était toutefois pas passé inaperçu pour un certain nombre de scientifiques. On peut retrouver un résumé de ces études dans un article de R. Lafaurie paru en 1958 [1]. On notera surtout la fameuse étude théorique de Pierce et Hunt en

1938. Un peu plus tard Lewis et Hunt publient dans le Journal of Acoustical Society of America de janvier 1941 une étude sur la théorie de la distorsion de contact (tracing distortion) où, en supposant une pointe non usée et ne pénétrant pas dans la matière du disque, on trouvait le calcul de la distorsion produite par la surface sphérique de la pointe de lecture. Un peu plus tard Corrington approfondit le problème dans un article de la RCA Review de juin 1949. Bien qu'à cette époque il n'existait pas de disques commerciaux à gravure verticale, les calculs ont été faits pour la gravure verticale et la gravure latérale. Pour cette dernière on note qu'il n'y a pas production d'harmoniques pairs en raison de l'effet push-pull (quand une paroi du sillon avance, son vis à vis recule). La formule qui donne le taux de distorsion par harmonique 3 dans ce cas montre que le rayon de la pointe de lecture apparaît à la puissance 2, la vitesse du défilement du sillon apparaît au dénominateur à la puissance 4, le niveau de gravure (vitesse en cm/s) apparaît à la puissance 3 et la fréquence du signal sinusoïdal gravé apparaît à la puissance 2. Sans aller plus loin dans les calculs on voit immédiatement que :

- le rayon de la pointe doit être aussi faible que possible.
- au centre du disque la distorsion croît très vite.
- le niveau de gravure doit être réduit.
- il ne faut pas graver de signaux à fréquence élevée.

Toutes ces conditions sont en contradiction absolue avec ce que l'on souhaite ou ce qui est possible. On constate bien toutefois que si le rayon de la pointe était nul (comme celui du burin graveur) la distorsion serait nulle, aussi bien au centre du disque que pour des fréquences élevées. Dans la pratique de la gravure des disques, on règle au mieux le pas variable pour que la fin de la gravu-

re soit située sur un rayon aussi grand que possible, on évite de graver le sillon à un niveau trop fort et l'on réduit le niveau des fréquences supérieures à 10 kHz, ou plutôt on l'empêche de dépasser une certaine valeur entre 10 et 20 kHz. Tout cela est évidemment valable quelle que soit la gravure même qualifiée de «directe» «PCM» etc. Seule la gravure et la lecture en impulsions codées avec un laser résoud l'ensemble du problème.

Reste donc le rayon de la pointe de lecture qu'il est souhaitable de réduire autant que possible. A l'origine du microsillon, en 1948, il n'était pas question d'autres pointes que de sphériques. Le rayon avait été fixé à 25 microns pour que la pointe se situe convenablement dans le sillon, ni trop haut ni trop bas. Des pointes de 13 microns réduisant nettement la distorsion ont bien été produites mais elles se situaient trop bas dans le sillon, risquant de toucher le fond pour peu que le rayon du sommet du burin graveur ait été émoussé par l'usure. C'est alors que l'on a commencé à parler de pointes à section elliptique malgré la difficulté de taille que représente une telle pointe. En prenant un grand axe de l'ellipse tel que les points de contact avec le sillon restent à peu près à la même distance que pour une aiguille sphérique dont le rayon, actuellement normalisé, est compris entre 15 et 18 microns. Les rayons  $r$  aux points de contact peuvent être réduits à 6-8 microns ce qui est très bon au point de vue de la distorsion, figure 1.

Il y a toutefois avec une telle taille deux objections majeures :

1. On n'a pas tenu compte qu'en réduisant le rayon à l'endroit du contact pointe-sillon on augmentait considérablement la pression par  $\text{cm}^2$ , à un point tel que l'on usait prématurément la pointe et le disque.

2. Les formules issues des calculs de Hunt-Corrington ou au-

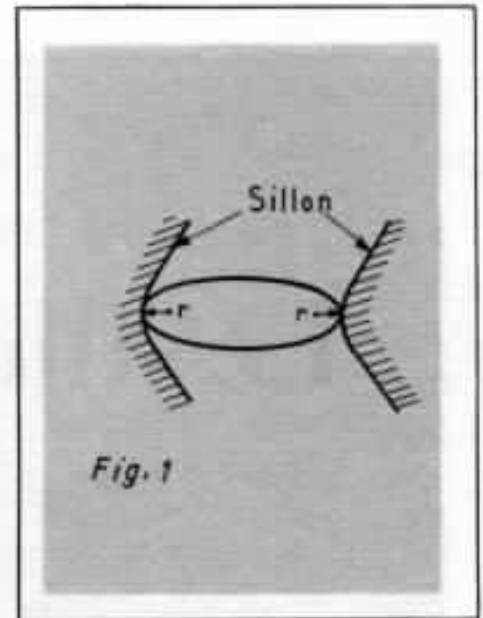


Fig. 1

Fig. 1 : Section droite d'une pointe elliptique.  $r = 6$  à  $8$  microns.

tres sont des résultats théoriques dans lesquels on ne tient pas compte de l'élasticité de la matière du disque et par conséquent de la pénétration de la pointe dans la matière sous l'effet de la pression. Or cette pénétration joue un rôle très important et bouleverse les belles théories [2-3 et 4]. Certains (Walton) ont même démontré qu'avec des lecteurs de qualité médiocre, nécessitant une force d'application élevée, on réduisait la distorsion grâce à la pénétration élastique de la pointe dans la matière du disque [5] (Au prix d'ailleurs de la diminution de la résolution dans les fréquences élevées).

Or, bien avant tout cela, mais au moment où l'on commençait à parler de pointes elliptiques, était déposé à Paris le 18 juin 1954 un brevet Français qui devait porter le N° 1.107.587. Le titre anodin était «Aiguille de Phonographe» mais il y était dit qu'avec des lecteurs fonctionnant avec une force d'application de 10 à 15 g - ce qui était une valeur courante à l'époque pour les cristaux de sel de Seignette délivrant une tension de sortie de l'ordre du volt - la pointe elliptique détériorait le disque.

L'idée du brevet était d'augmenter la surface de contact dans le plan vertical, c'est à dire en suivant les arêtes du burin graveur tout en maintenant un faible rayon dans le plan horizontal comme pour les aiguilles elliptiques. Ceci était obtenu en prenant pour rayon de courbure  $AJ_1$ ,  $BJ_2$  - figure 2 - un rayon nettement plus grand que les 15 à 25 microns habituels. Malheureusement les moyens de fabrication à l'époque n'ont pas permis la réalisation industrielle. Néanmoins c'est dans la même idée que furent développées, 20 ans plus tard, les pointes Shibata et toutes celles qui ont suivi et qui sont maintenant commercialisées.

Mais revenons sur ces problèmes de pénétration élastique qui sont vraiment peu connus du moins dans le domaine des disques. La pénétration d'un pointon sphérique indéformable (la pointe en saphir dans notre cas) dans une matière élastique est régie par la formule de Hertz :

$$d = 0,825 \left[ \frac{W^2}{\left[ \frac{E}{1 - \gamma^2} \right]^2 \cdot R} \right]^{1/3}$$

dans laquelle E est le module de Young, 300 kg/mm<sup>2</sup> pour le vinyle,  $\gamma$  est le coefficient de Poisson qui vaut 0,35, W est la force appliquée en grammes et R le rayon de la pointe. Tout ceci dans des conditions statiques, c'est à dire le disque à l'arrêt. Lorsque la force d'appui de la pointe sur le disque est très faible, la déformation est élastique et disparaît lorsque l'on supprime la charge, la formule de Hertz s'applique. Si l'on augmente la charge, la contrainte maximale se présente sous la surface du disque à une distance de celle-ci égale à 0,5 R. On a donc sous la surface une zone plastique dont le volume croît avec la charge. Si l'on supprime la charge le rétablissement de la forme n'est

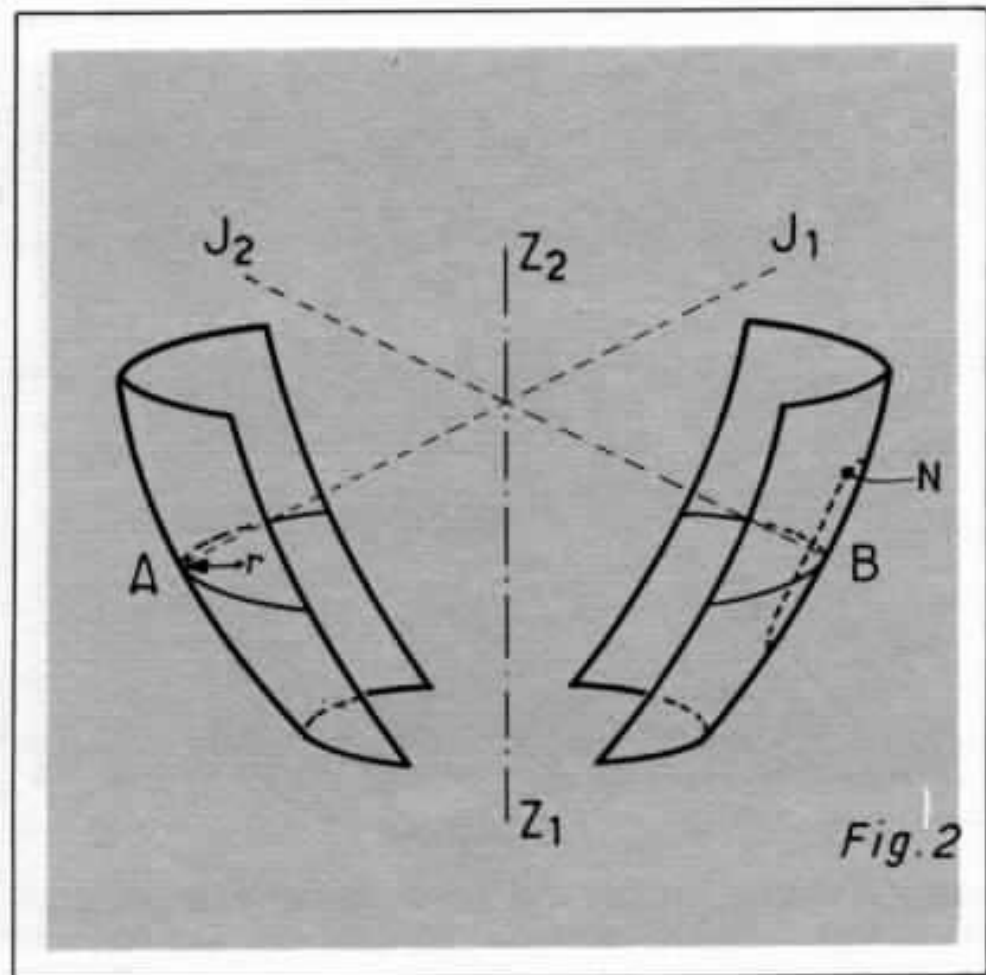


Fig. 2 : Extraite du brevet 1.107.587. L'axe de la pointe est  $Z_1, Z_2$ . Les surfaces curvilignes représentent la surface de la pointe aux environs du contact avec le sillon.  $AJ_1$  et  $BJ_2$  sont les rayons de courbure dans le plan vertical,  $r$  le rayon dans le plan horizontal. La courbe N représente le contour de la surface de contact pointe-sillon compte tenu de la pénétration de la pointe dans le disque.

que partiel, la déformation est permanente. Mais intervient aussi une question de temps, si la charge n'est appliquée qu'un court instant, comme lorsque le disque est en rotation et si la matière est assez élastique, elle pourra, après un certain temps, recouvrer sa forme initiale.

Par exemple, procéder à un essai d'usure avec un sillon bouclé sur lui-même [6] fait passer la pointe à une cadence trop élevée pour que la matière ait eu le temps de reprendre sa forme entre deux tours du disque. La figure 3 [7] représente plusieurs cas, dont le dernier avec une pointe de 25 microns et une force de 2,5 g montre qu'une trace permanente reste imprimée dans le disque.

Pour rester dans la limite élastique, une force de 3 g avec une pointe de 13 microns est équivalente à une force de 12 g pour une pointe de 25 microns, ou 108 g pour une pointe de 75 microns correspondant au 78 tours dont la matière était 2 fois plus dure que le vinyl des disques microsillon.

Ceci montre donc à quel point l'on fait souffrir le disque en réduisant le rayon de contact de la pointe pour améliorer les taux de distorsion dont nous avons parlé ci-dessus.

Mais il y a encore un autre effet auquel les auteurs cités en référence ne font pas allusion : ce sont les effets dynamiques dus à la modulation. En effet celle-ci, dans les fréquences élevées, peut

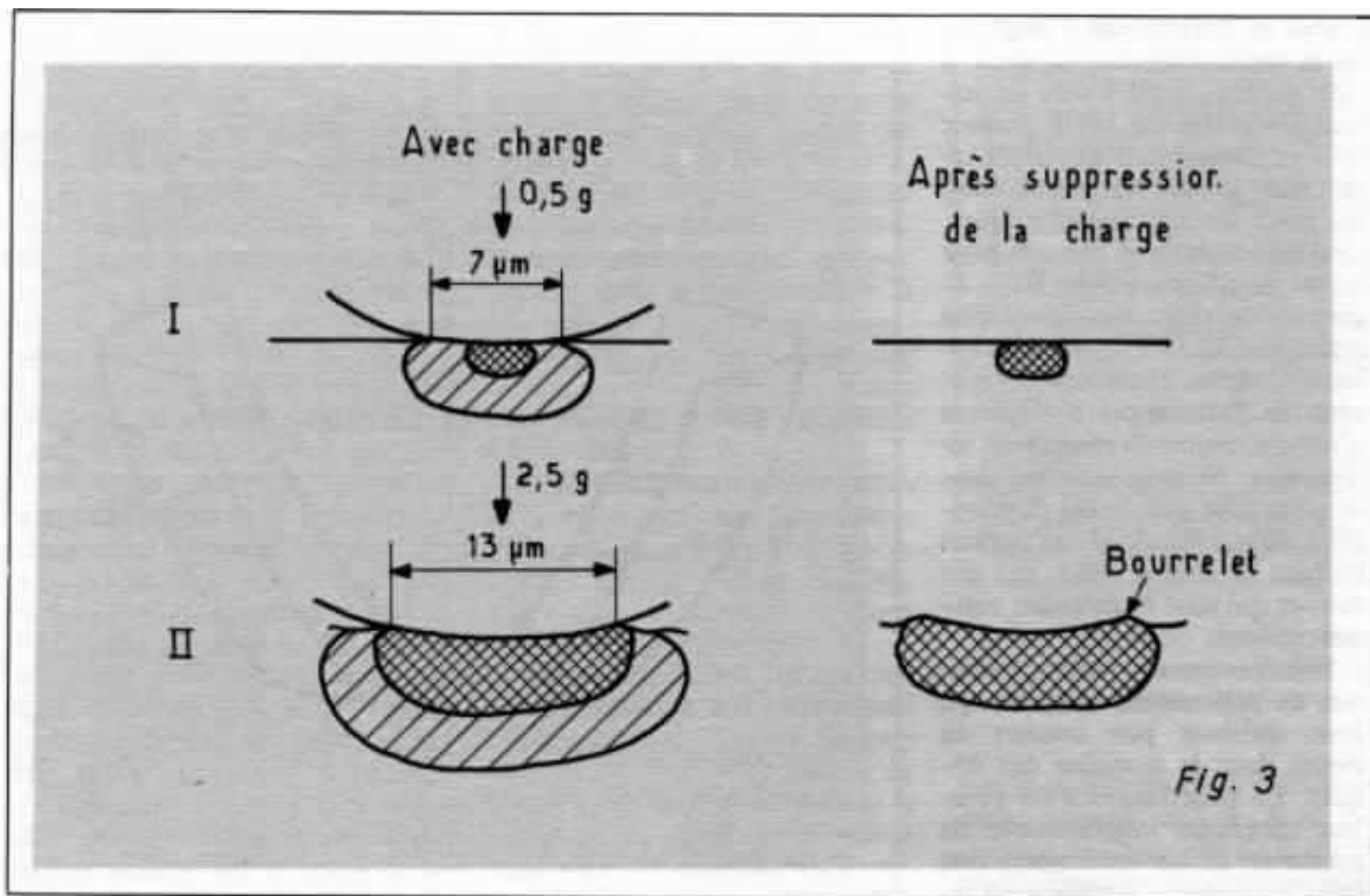


Fig. 3 : Les déformations permanentes en hachures croisées ne sont pas toujours visibles en surface. Les zones en hachures simples sont les zones élastiques où se manifeste la pression exercée mais qui ne subissent pas d'altération permanente après suppression de la charge.

produire des accélérations de l'ordre de 1000 fois celle de la pesanteur, autrement dit 1000 g. Ces accélérations appliquées à une pointe dont la masse effective est de l'ordre de 1 mg dans la pratique produisent une force supplémentaire de 1 gramme force d'où une action aggravante dont il n'a pas été tenu compte.

La conclusion de tout ce qui précède est que, d'une part, les études théoriques sur la distorsion de contact et les études sur la déformation élastique sont très complexes, même en négligeant certains paramètres dont nous avons mentionné l'importance, mais aussi d'autre part, que la réduction du rayon de contact pointe/sillon est nécessaire tout en étant néfaste pour la vie du disque. D'où l'intérêt d'étudier de nouvelles formes de pointes

qui satisfont à ces conditions contradictoires.

### LES POINTES STANTON

L'objectif fixé dans le brevet Français de 1954, consistant à réduire le rayon de courbure de la pointe en contact avec le sillon tout en augmentant la surface de contact, a donné lieu à un grand nombre de réalisations, nous citerons celles de Stanton car elles sont des plus récentes.

Dans une conférence faite au cours du 58<sup>e</sup> Congrès de l'Audio Engineering Society à New York en 1977, M. Alexandrovich Vice-Président de Stanton, a rappelé que l'apparition des disques CD4 tétraphoniques dont le signal différence est transmis en modulation de fréquence sur une porteuse de 30 kHz, pouvant atteindre

45 kHz en crête de modulation, nécessite non seulement un phonolecteur mais aussi une pointe de lecture spéciaux. Bien que la porteuse soit enregistrée à très faible niveau et qu'il soit seulement nécessaire de recueillir sa fréquence sans trop s'occuper de son niveau ni de sa forme d'onde, il faut quand même que le rayon de contact entre la pointe et le sillon soit inférieur à la longueur d'onde de la gravure de la porteuse. Tout cela demande à être visuellement contrôlé, notamment comment la pointe repose-t-elle dans le sillon et comment s'use-t-elle ? Ce dernier point est en effet capital car il ne sert à rien de produire un profil excellent lorsque la pointe est neuve mais dont cette excellence est ruinée par l'usure après quelques heures de fonctionnement.

L'emploi de microscopes optiques est exclu car le grossissement nécessaire - plusieurs centaines de fois - conduit à une profondeur de champ ridiculement faible. On a donc eu recours au microscope électronique à balayage (voir annexe) qui peut avoir un grossissement supérieur à 100000 tout en ayant une profondeur de champ considérable.

La projection de l'image sur un tube cathodique permet l'examen visuel et la photographie. Par ailleurs la métallisation avec de l'or des échantillons à examiner, métallisation nécessaire au fonctionnement du microscope électronique, a été la source d'un très intéressant moyen d'information. La dorure d'une pointe qui subit un essai d'usure est enlevée par le frottement donnant ainsi la trace de la surface de contact depuis le début jusqu'à la fin de l'essai ainsi qu'un contrôle de l'orientation de la pointe. Celle-ci doit évidemment être très exactement calée dans le sillon de la même manière que l'entrefer d'une tête magnétique d'un magnétophone doit être calé en azimut par rapport à la bande.

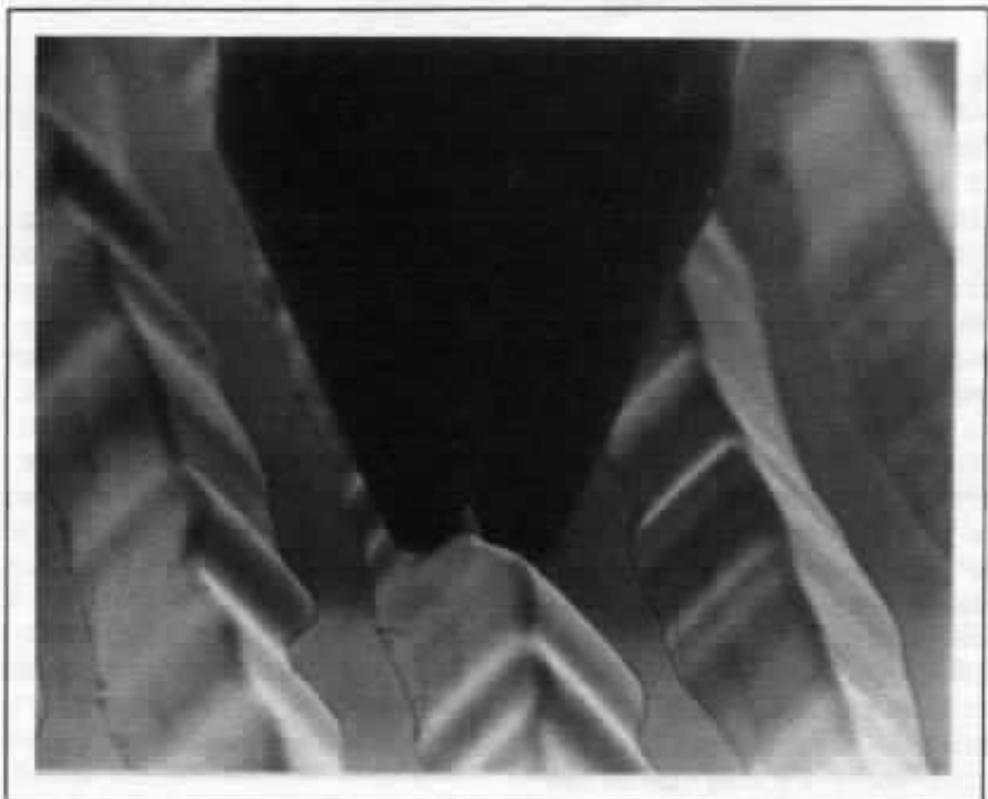
L'usage du microscope électronique a donc permis la recherche expérimentale de la meilleure forme à donner à la pointe pour la lecture des disques tétraphoniques CD4. Cela a conduit à la pointe dite «Quadrahedron». Forts des résultats obtenus, les chercheurs de Stanton ont poursuivi leurs études pour voir quelles formes devaient être données à la pointe pour la lecture des disques stéréo habituels. Cela a conduit à la pointe «Stereohedron» qui a été comparée aux pointes sphériques - elliptiques et aussi à la pointe Shibata au point de vue de l'usure de la pointe et du disque et du maintien de la forme de la surface de contact lorsque la pointe s'use. Le rayon de courbure de la pointe «Stereohedron» regardé de face et reposant dans le sillon est plus grand que celui



*Fig. 4*

*Matrice de pressage grossie 500 fois. Le sillon est en relief et l'on remarque que l'un des flancs du sillon au voisinage du fond du sillon est endommagé.*

*Photo Stanton.*



*Fig. 5*

*Grossissement 490 fois de la pointe en forme de fourche qui est une exclusivité Stanton. Cette pointe permet la lecture des pères ou des matrices des pressages dont le sillon est en relief.*

*Photo Stanton.*

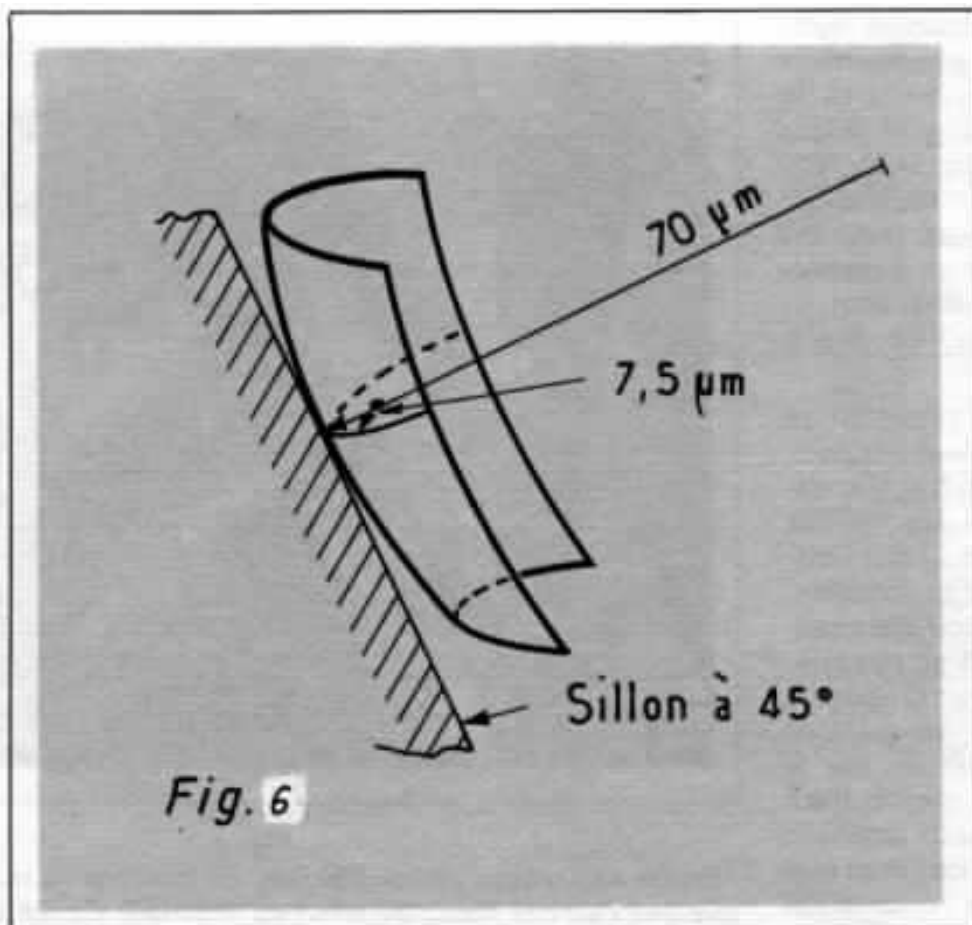


Fig. 6 : Rayons de courbure caractéristiques de la pointe Stereohedron.

de la pointe elliptique mais plus petit que celui de la «Quadrahedron». Ses rayons de courbure au contact sont de 70 microns dans le plan vertical et 7,5 microns dans le plan à 45°, c'est à dire perpendiculaire au flanc du sillon (figure 4). Le rayon de 70 microns permet de tolérer une erreur de calage de la tête de lecture ou des imperfections du sillon. Le plus difficile est évidemment de déterminer la forme de la pointe en tenant compte des tolérances de fabrication. Les outillages nécessaires pour cette production sont si petits qu'ils sont presque invisibles à l'œil nu, la précision obtenue est supérieure à celle utilisée pour la fabrication des montres bracelet. En tout état de cause la forme «Stereohedron» se conserve, sous l'effet de l'usure, nettement mieux que celle des autres pointes, réduisant ainsi l'usure des disques et l'accroisse-

ment de la distorsion de contact.

Pour conclure nous dirons que les études théoriques sur la distorsion de contact et sur la pénétration, bien qu'en ayant négligé des paramètres importants, ont au moins eu le mérite d'expliquer beaucoup de choses et d'indiquer les voies à suivre. Par ailleurs des progrès dans l'étude des formes et la réalisation des pointes n'ont pu être faits que grâce au microscope électronique qui permet de «voir» ce qui se passe réellement.



## APPENDICE

### Quelques données sur le microscope électronique à balayage

Cet appareil, assez extraordinaire, a été développé en Angleterre par Cambridge Instruments (note 1) et n'existe sous forme industrielle que depuis 1966. Il est basé sur le fait, qui peut paraître surprenant à première vue, que l'on peut obtenir un diamètre de faisceau plus faible avec un faisceau d'électrons qu'avec de la lumière, donnant ainsi accès à des grossissements beaucoup plus élevés. C'est ainsi que l'on peut atteindre des grossissements de l'ordre de 100000 tout à fait impensables en optique. Le diamètre du faisceau peut être compris entre 100 et 50 Angstroms (1 Å = 10<sup>-10</sup> mètre ou encore 1 dixmillième de micron pour situer l'ordre



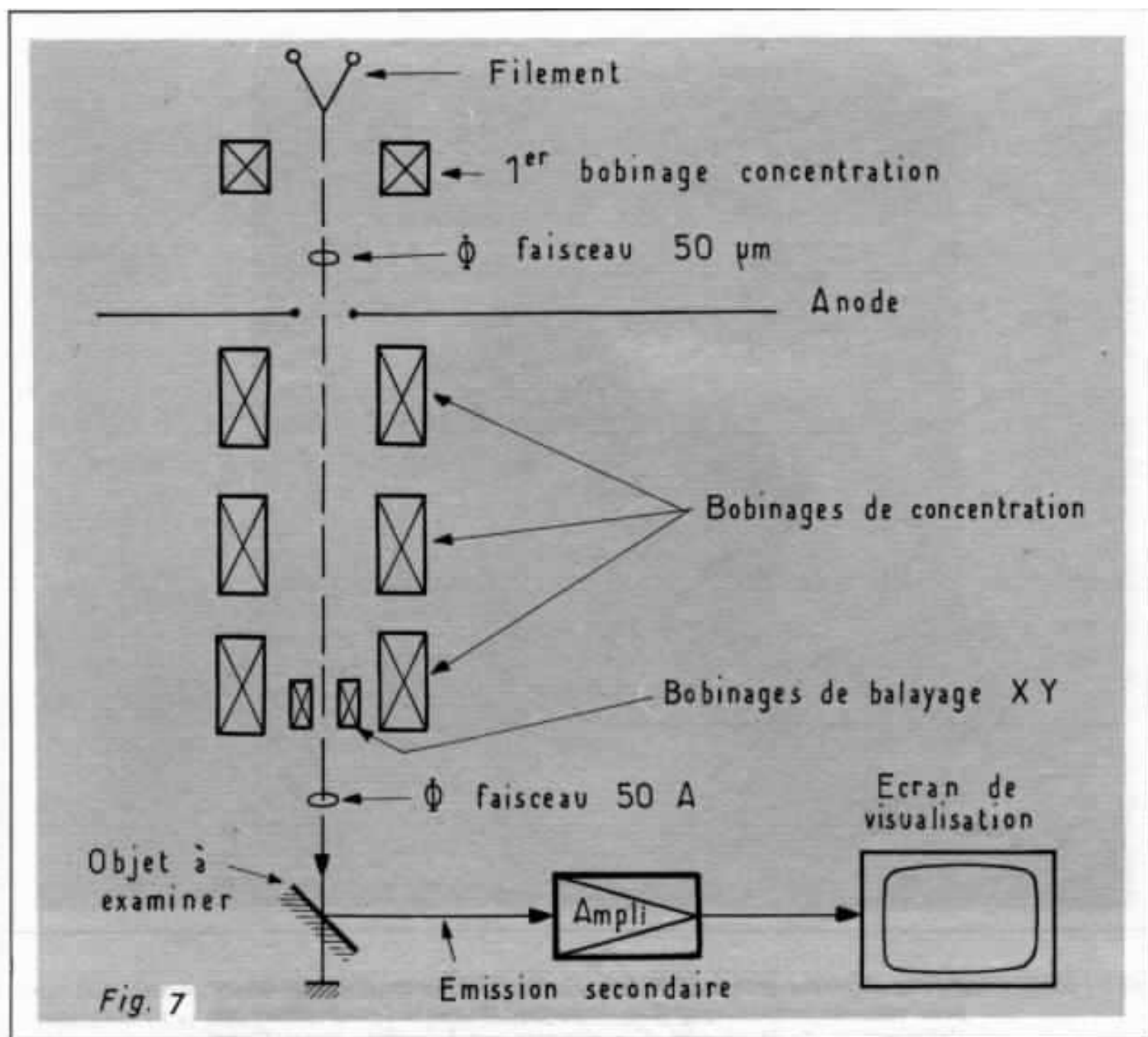


Fig. 7 : Constitution d'ensemble d'un microscope électronique à balayage.

de grandeur des dimensions rencontrées dans le disque phonographique). On va donc disposer d'une résolution permettant l'examen très fin des pièces qui nous intéressent : pointes - sillons etc...

Une autre caractéristique au moins aussi fondamentale que la résolution appartient aussi à ce type de microscope : c'est la très grande profondeur de champ dont il dispose. On sait en effet qu'un microscope optique gros-

sissant 1000 fois, valeur minimale nécessaire pour l'examen des disques, a une profondeur de champ si faible qu'elle ne permet pratiquement l'observation que des objets absolument plans, ce qui n'est pas le cas avec les pointes et les sillons. La profondeur de champ du microscope électronique à balayage est de l'ordre de 1 mm pour un grossissement de 1000 soit environ 300 fois plus grande qu'en optique classique. 1 mm est d'ailleurs très grand

pour les objets tels que les pointes et les sillons. Ceci est visible sur les photos qui illustrent cet article.

Le principe très schématique du microscope électronique à balayage est le suivant :

Une émission électronique est produite par un filament et accélérée vers une anode par une tension, variable selon les utilisations, entre 1,5 et 40 kV. Au niveau de l'anode le diamètre du faisceau est déjà réduit à un dia-



*Fig. 8*

*Pointe elliptique grossie 1500 fois. Après 1500 heures d'utilisation on peut voir, en forme de papillon, la surface de contact matérialisée par l'élimination de la couche d'or déposée sur la pointe avant l'essai d'usure. On note que le sommet de la pointe usée était en contact avec le fond du sillon ce qui est un défaut grave. Par contre l'usure bien symétrique montre que l'antiskating était correctement réglé.*

*Photo Stanton.*

mètre de 50 microns. Le passage dans 3 bobines de concentration permet de le réduire à 50 A. Ce faisceau subit un balayage XY comme en télévision mais évidemment de très faible amplitude compte tenu des dimensions de l'objet à examiner. Ce balayage peut être, comme en télévision, à 625 lignes mais il peut aussi atteindre 1000 lignes. Le temps de balayage de trame est plus long qu'en télévision et peut varier entre 0,2 s et 100 s.

Le faisceau explore alors l'objet à examiner. Cet objet est soit conducteur par lui-même, soit rendu conducteur par une métallisation préalable, il émet des électrons secondaires au point d'impact du faisceau. Ces électrons secondaires sont récupérés et le courant produit, amplifié dans un scintillateur, sert à moduler un tube cathodique sur lequel se fait l'observation ou la photographie (figure 5).

Il n'est pas dans l'objet de cet

article d'aller plus avant dans la description du microscope électronique à balayage, notons simplement que l'appareil est muni d'une pompe à vide pour la chambre dans laquelle est placé l'échantillon à examiner. Que ce dernier peut avoir des dimensions jusqu'à 50 x 50 x 25 mm et qu'il peut être déplacé dans la chambre à vide depuis l'extérieur. La métallisation des échantillons non conducteurs est faite par pulvérisation cathodique dans un petit



*Fig. 9*

*Microscope électronique à balayage Cambridge Instruments.  
Photo Blomfield.*

appareil annexe. Cette opération, faite sous vide, est de courte durée - quelques minutes - y compris la mise sous vide. La couche métallique déposée (or, nickel, chrome, cuivre etc...) peut être extrêmement faible et ajustable avec un débit de 600 A par minute.

Bien entendu dans le domaine de l'industrie phonographique le microscope électronique à balayage peut avoir de nombreuses au-

tres applications que l'étude des pointes, par exemple la gravure et les burins de gravure, le contrôle de l'efficacité des dispositifs «d'antiskating», la comparaison des procédés de nettoyage des disques etc... Evidemment un tel appareil n'est pas à la portée de toutes les bourses, son prix est de l'ordre de 150000 F.H.T.

Note 1 - Adresse en France :  
Centre d'Affaires Paris Nord -

Bâtiment Ampère 93153 Le Blanc Mesnil.

#### **BIBLIOGRAPHIE**

1. Annales des Télécommunications mars-avril 1958
2. Journal AES avril 1957
3. Journal AES avril 1966
4. Journal AES juillet 1966
5. Wireless World décembre 1967
6. Journal AES avril 1956
7. Wireless World avril 1964



**Page non  
disponible**

# La distorsion dans les amplificateurs

*Eero Leinonen*

*Matti Ojala*

*Voici le troisième et dernier volet de cette série d'articles consacrés à la mesure de la distorsion.*

*Après la méthodologie, voici l'application de ces mesures aux amplificateurs de puissance et amplificateurs opérationnels. Les résultats débouchent sur la validité de la méthode proposée par les auteurs et les corrélations pouvant exister avec les méthodes plus couramment utilisées.*

*Enfin la conclusion de ces articles débouche sur des réflexions significatives de la prudence avec laquelle doivent être analysés les résultats de mesure.*

## LA DISTORSION DANS LES AMPLIFICATEURS DE PUISSANCE

Nous avons effectué des mesures sur 11 amplificateurs de puissance haute fidélité, pour étudier en vraie grandeur les divers phénomènes de distorsion. Ces mesures ont été faites sur les amplificateurs suivants : SONY TA-8650, YAMAHA CR-600, QUAD 405, JVC CR-5300, TANDBERG TR-2025, KENWOOD KR 4600, LUXOR 8100, ACOUSTOLAB DISCO, ASA 4000, PIONEER SX-650 et MARANTZ 1200B.

Les mesures furent effectuées

dans des conditions nominales, le correcteur de tonalité physiologique hors service, le correcteur de tonalité à mi course et avec la résistance de sortie spécifiée par le fabricant.

Les figures 11, 12 et 13 montrent les résultats typiques obtenus par les différentes méthodes de mesure. L'amplificateur de la figure 11 présente une grande similitude avec les cas d'étage de sortie asymétrique (fig. 6c) et de TIM «dure» (fig. 8c) parus dans le n° 3.

L'amplificateur de la figure 12 présente un cas mélangé d'étage de sortie symétrique et asymétri-

que. La forme des courbes présente cependant une certaine anomalie, qui pourrait tendre vers des phénomènes de distorsion plus compliqués.

L'amplificateur de la figure 13 présente un phénomène de distorsion étrange, car la différence entre les résultats de mesure des méthodes SMPTE-IM et THD provoquerait des effets d'annulation. De plus, l'accroissement considérable du bruit à puissance élevée, incompatible avec l'absence d'accroissement de DIM, amène un phénomène de distorsion complexe et variable dans le temps.

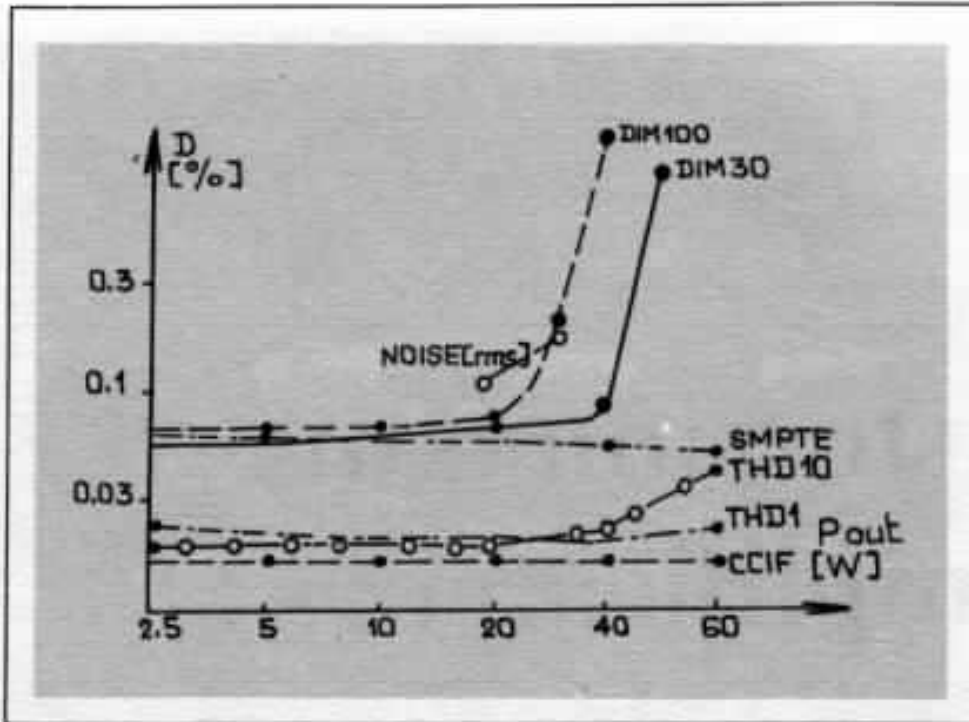
## DISTORSION DANS LES AMPLIFICATEURS OPERATIONNELS

Nous avons testé les amplificateurs opérationnels suivants :  $\mu A$  709,  $\mu A$  739,  $\mu A$  741, MC 1450, RS 536, LM 301, LM 318, HA 2505, LF 356, LF 357 et CA 3180. Les conditions de test étaient les suivantes : circuit non inverseur réglage du gain à 20 dB, la compensation indiquée - tension d'alimentation  $\pm 15$  V et 5 k $\Omega$  de résistance de charge. Les procédés de mesure étaient les mêmes que précédemment et les résultats ont mis en évidence des distorsions statiques très faibles et une distorsion TIM très importante. Les résultats figurent dans le tableau 3 et la figure 14; ils montrent les amplificateurs opérationnels  $\mu A$  709,  $\mu A$  739,  $\mu A$  741, LM 301 et MC 1456 présentant une intermodulation dynamique importante, même avec des tensions de sortie peu élevées. Cette distorsion importante exclut totalement l'utilisation du  $\mu A$  741 pour des circuits audio et réduit l'utilisation du  $\mu A$  709,  $\mu A$  739 et LM 301 à des gains supérieurs à 20 dB et à des tensions de sortie inférieures à quelques volts crête-crête.

Même dans ce cas, il convient d'être très prudent et de vérifier si une distorsion ne s'est pas produite à la suite d'une compensation incorrecte. Si l'on ne tient pas compte de l'importante intermodulation dynamique, les valeurs de l'intermodulation statique et de la distorsion harmonique totale de ces appareils sont très satisfaisantes, comme on le verra plus loin.

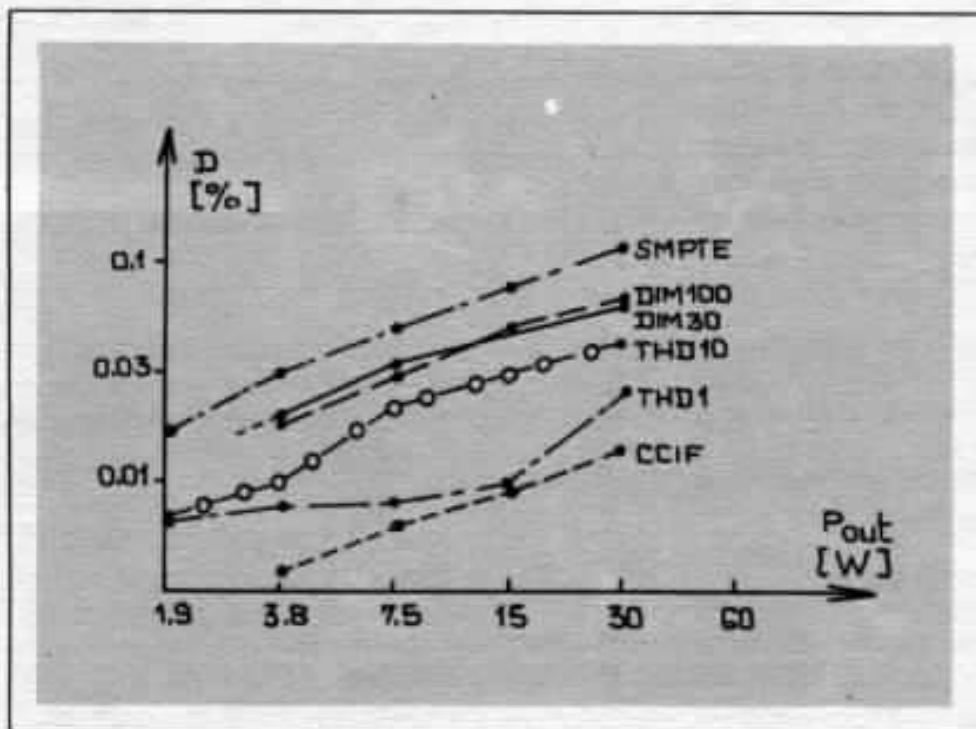
On n'a remarqué aucune intermodulation dynamique dans les appareils LM 318, LF 356, LF 357 et HA 2505, bien qu'une très légère intermodulation statique soit apparue. Ces amplificateurs se caractérisent par leur très grande vitesse de balayage.

Les résultats ont permis de tirer



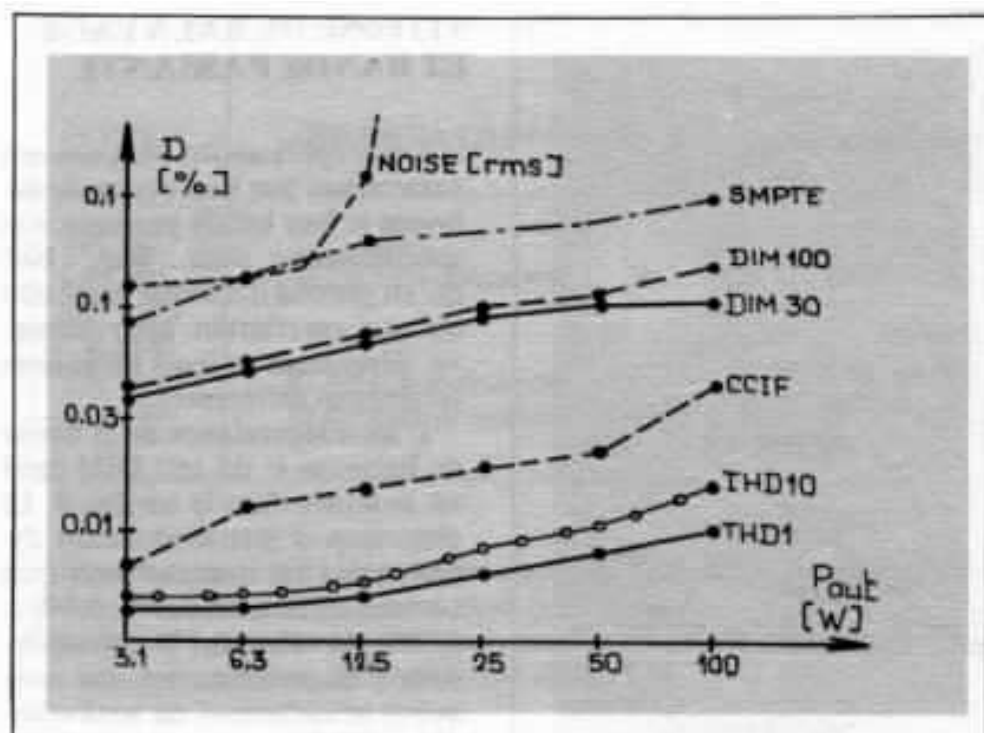
- Fig. 11 -

Distorsion d'un amplificateur de puissance présentant surtout des distorsions dynamiques.



- Fig. 12 -

Distorsion d'un amplificateur de puissance présentant surtout des distorsions statiques. La mesure du bruit ne permet pas de déceler de distorsion. Les courbes de DIM 30 - DIM 100 et THD 1 - THD 10 mettent en évidence une distorsion anormale.



- Fig. 13 -

Distorsion d'un amplificateur de puissance présentant une distorsion complexe. L'augmentation considérable du bruit, sans accroissement correspondant des points DIM vers un phénomène de distorsion dans le temps.

Le regroupement des courbes THD par rapport aux autres montrent une tendance à une certaine suppression de la distorsion.

les conclusions suivantes :

1. - Les méthodes THD et SMPTE donnent des chiffres de distorsion très bas, même lorsque d'autres tests prouvent que l'appareil n'est pas valable. On peut donc mettre en doute la valeur

des tests THD et SMPTE-IM pour du matériel d'audio fréquence, si l'on suspecte une distorsion dynamique.

2. - La méthode de bruit donne une bonne idée de la distorsion d'intermodulation dynamique,

lorsque celle-ci est relativement importante. Pour des distorsions plus faibles, sa précision est insuffisante pour deux raisons semble-t'il :

- la densité de puissance d'entrée est assez faible, provoquant une faible amplitude des produits de l'intermodulation.

- ces produits de l'intermodulation sont masqués par le bruit thermique.

3. - La méthode CCIF-IM met en évidence une distorsion d'intermodulation dynamique. Cette méthode semble cependant moins précise que la méthode DIM.

4. - Les résultats de la méthode par transfert de bruit, de la méthode DIM et de la méthode CCIF-IM correspondent à peu près, les écarts individuels dépendant probablement d'aspects légèrement différents du phénomène à peu près identique que l'on veut mesurer.

## CORRELATION DES RESULTATS

Pour étudier la corrélation des résultats obtenus par les différentes méthodes de mesure, on a utilisé les résultats des mesures des amplificateurs de puissance par le calcul classique des coefficients de corrélation.

TYPE	OBSERVATIONS	Distorsion du signal carré FILTRE		CCIF-IM 14.00 kHz 15.00 kHz (%)	Test de bruit Niveau de bruit dB	SMPTE-IM 200 Hz + 8,0 kHz (%)	THD 1 kHz (%)	Vitesse de balayage V/μs
		30 kHz	100 kHz					
μA 709	20 dB compensation	0,039	0,28	-	-	-	0,02	3,0
μA 739	20 dB compensation	-	0,04	-	-	-	0,02	2,1
MC 1456		0,043	0,32	-	-	-	0,02	1,8
LM 301	20 dB compensation	-	0,03	0,02	-	-	0,02	1,3
μA 739	0 dB compensation	5,6	8,9	0,32	- 20	0,31	0,02	0,64
μA 741		3,8	6,3	0,44	- 26	0,10	0,02	0,61
LM 301	0 dB compensation	3,5	5,8	0,66	- 20	0,10	0,02	0,58
μA 709	0 dB compensation	62	63	26	- 6	0,11	0,02	0,20

- Tableau 3 -

Mesures de certains amplificateurs opérationnels par différentes méthodes.

Conditions de test : circuit non-inverseur, gain de 20 dB, tension de sortie crête-crête de 10 V, résistance de charge de 5 kΩ, tension d'alimentation ± 15 V.

(-) indique que la distorsion n'a pu être mesurée.

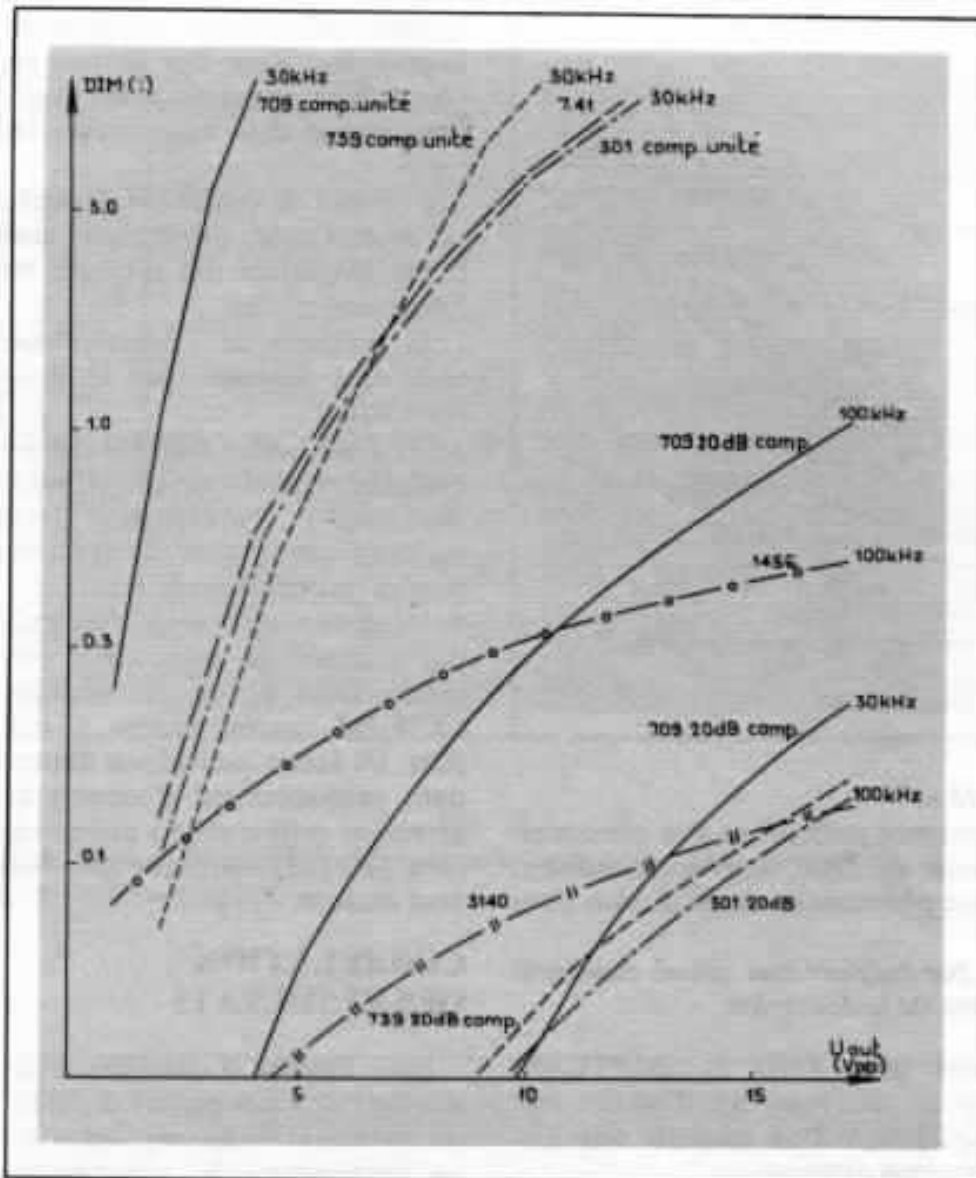
## VITESSE DE BALAYAGE ET BANDE PASSANTE

Les amplificateurs sont souvent caractérisés par leur vitesse de balayage et leur bande passante. Ces spécifications sont liées, bien qu'en général il n'existe entre elles qu'une corrélation approximative, dépendant de leurs définitions totalement différentes.

L'interdépendance de la vitesse de balayage et du test DIM carré est indiquée dans le tableau 4. La distorsion d'intermodulation dynamique a été mesurée pour trois niveaux différents, 0,3%, 0,1% et 0,05%, la valeur 0,1% correspondant à la connaissance que nous avons actuellement du seuil d'audition TIM.

Suivant la compensation et le type d'amplificateur opérationnel, la distorsion commence pour une vitesse d'établissement en sortie (mesurée comme temps de montée de la composante du signal carré) jusqu'à 8,7 fois inférieure à la vitesse de balayage mesurée, confirmant ce qui a déjà été établi (7,8) (\*). Si on utilise cette découverte et que l'on prenne comme marge de sécurité le facteur 10, pour des niveaux de signaux habituels d'amplificateurs opérationnels et une bande passante de 30 kHz, la vitesse de balayage minimum de sécurité serait de l'ordre de 10 V/μs, que très peu d'amplificateurs opérationnels sont capables d'atteindre.

Dans le cas d'amplificateurs de puissance, la vitesse de balayage minimum de sécurité équivalente serait de l'ordre de 100 V/μs, que seuls quelques amplificateurs actuellement sur le marché peuvent atteindre. Ces résultats montrent que même les amplificateurs actuels les plus rapides présentent (\*) Cela veut dire que si la TIM est douce, il y a une grande différence entre la vitesse de balayage et la vitesse d'établissement à laquelle on peut déjà percevoir de la TIM.



- Fig. 14 -

*Distorsion d'intermodulation dynamique de divers amplificateurs opérationnels en fonction de la tension de sortie, avec comme paramètre les fréquences de coupure des filtres du signal carré. Conditions : circuit non inverseur, gain de 20 dB, résistance de charge de 5 kΩ, tension d'alimentation ± 15 V. Types des amplificateurs testés : μA 709, μA 739, MC 1456, LM 301.*

Les résultats sont indiqués sur la fig. 15 par un astérisque.

Tous les coefficients de corrélation sont d'environ 0,5 au moins avec une variation importante qui montre qu'il n'y a pas de corrélation valable.

Lorsque l'on ajouta les résultats des mesures des amplificateurs opérationnels, les coefficients totaux de corrélation, indiqués par un point sur la fig. 15

changèrent de manière considérable. En fait, ces corrélations qui impliquaient une méthode précise de mesure de la distorsion statique, par exemple SMPTE-IM ou THD 1 et une méthode précise de mesure de la distorsion dynamique, par exemple DIM, devenaient nulles. On a pu noter une augmentation des coefficients de corrélation qui impliquaient une association précise de méthodes pour le même type de distorsion.

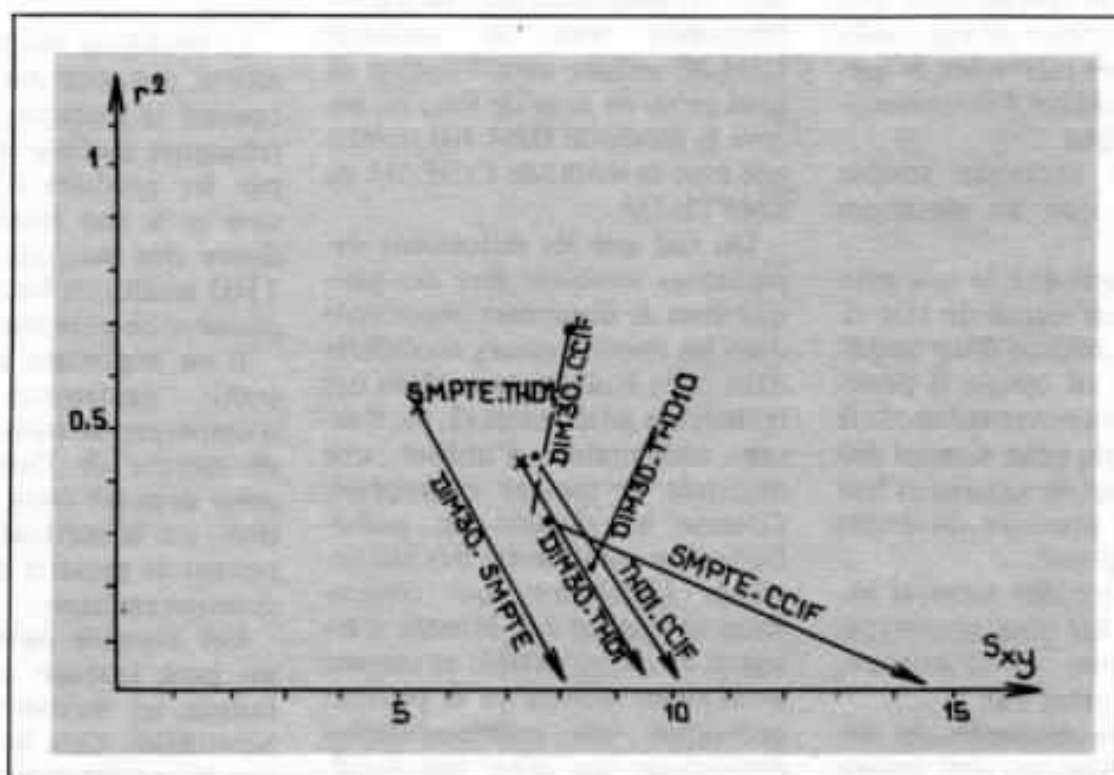


TYPE	OBSERVATIONS	Vitesse maximum d'établissement du signal de sortie pour			Vitesse de balayage mesurée V/ $\mu$ s
		0,3% DIM	0,1% DIM	0,05% DIM	
$\mu$ A 741	0 dB compensation	0,29	0,11	0,07	0,61
LM 301		0,25	0,11	0,07	0,58
MC 1456		1,8	1,6	1,2	1,8
CA 3140		13,5	13,5	10,4	13,5
$\mu$ A 709	20 dB compensation	-	3,0	2,8	3,0
$\mu$ A 739	20 dB compensation	2,1	2,1	1,7	2,1

- Tableau 4 -

Vitesse maximum d'établissement du signal de sortie (composante du signal carré), pour différents niveaux de distorsion totale d'intermodulation dynamique.

Conditions : circuit non-inverseur, gain de 20 dB, résistance de charge de 2 k $\Omega$   
tension d'alimentation de  $\pm 15$  V.



- Fig. 15 -

Les coefficients de corrélation pour les mesures de distorsion des amplificateurs de puissance sont indiqués par un astérisque. Les points indiquent que les données sur la distorsion des amplificateurs opérationnels sont comprises dans ces coefficients.

une intermodulation dynamique peu satisfaisante. En conséquence, des spécifications de vitesse de balayage aussi basses que  $1 \text{ V}/\mu\text{s}$  et  $20 \text{ V}/\mu\text{s}$  provoqueraient des distorsions d'intermodulation.

## CONCLUSION DE CETTE SERIE D'ARTICLES

Nous avons proposé une nouvelle méthode de test de distorsion en audiofréquence. Nous avons étudié les résultats et les corrélations des méthodes connues, qui ont montré que :

- de nombreux amplificateurs ayant des données THD et SMP-TE-IM excellentes donnent des valeurs de distorsion importantes mesurées grâce à la méthode proposée.

- cette méthode semble avoir une corrélation du point de vue qualité avec d'autres méthodes de mesure de la distorsion d'intermodulation dynamique.

- la méthode proposée semble plus sensible que les méthodes existantes.

Nous croyons que le test proposé donne un signal de test rigoureux mais réaliste d'un amplificateur, avec en option la possibilité d'ajuster convenablement la bande passante, pour simuler différentes sources de signaux et leur possibilité de produire différents niveaux de réponse.

En effectuant des mesures expérimentales sur cinq prototypes de mécanismes de distorsion, nous avons montré que :

- les méthodes classiques de mesure de distorsion qui sont proposées réagissent de manière très différente aux divers mécanismes de distorsion.

- il n'existe pas de corrélation valable entre les résultats obtenus par quelque combinaison de méthodes que ce soit

- l'utilisation de la méthode de distorsion harmonique totale et la mesure d'intermodulation SMPTE est redondante.

- les méthodes THD et SMP-

TE-IM ne réagissent pas aux mécanismes de distorsion dynamique.

- la méthode d'intermodulation CCIF n'indique pas de manière valable la présence d'une distorsion d'intermodulation transitoire «dure».

- la méthode DIM n'indique pas de manière valable de distorsion de commutation, à moins de changer la composante du signal carré en signal en dent de scie.

- la méthode par le bruit n'est pas facile à utiliser, à cause des limites imposées par le bruit thermique et l'écrêtage de sortie.

Les meilleures méthodes de mesures permettant d'obtenir une spécification valable de la distorsion des amplificateurs en audiofréquence sont la méthode DIM 30 utilisée avec l'option signal carré/en dent de scie, ou encore la méthode DIM 100 combinée avec la méthode CCIF-IM ou SMPTE-IM.

Du fait que les distorsions dynamiques semblent être des phénomènes de distorsion importants dans les amplificateurs considérés dans cette étude comme dans des recherches antérieures (2, 9), il serait souhaitable d'utiliser une méthode de mesure appropriée. Comme les signaux en audiofréquence comportent des phénomènes transitoires qui ressemblent beaucoup à la montée d'un signal de mesure DIM, et comme nous avons montré qu'ils peuvent provoquer une intermodulation importante qui n'est pas forcément détectée par les autres méthodes, nous pensons qu'il faut préconiser la généralisation de la méthode DIM.

La bande passante de puissance est la fréquence à laquelle l'amplificateur peut fournir la moitié de sa puissance de sortie avec une distorsion harmonique totale de 1% maximum (14). C'est un critère très largement utilisé pour établir les performances en haute fré-

quence d'un amplificateur.

Bien que ce soit vrai dans une certaine mesure, un certain nombre d'effets rendent ce critère moins valable pour les amplificateurs en audio-fréquence. Tous ces effets sont dus au fait que pour spécifier la bande passante, on doit mesurer les composantes de distorsion qui sont en dehors de la bande passante de l'amplificateur.

Par exemple, considérons un amplificateur ayant une bande passante mesurée de 20 kHz. Maintenant, si l'on ajoute en sortie un filtre passe-bas idéal de 35 kHz, la distorsion harmonique totale devient nulle par définition. La bande passante de puissance «résultante» dans la bande de 20 à 35 kHz ne dépendra alors que de la conception de l'amplificateur.

Le problème réside dans la définition, car pour des signaux réels comme la musique, la bande de fréquence audible serait parasitée par les produits d'intermodulation et le son serait sans aucun doute très mauvais, bien que la THD serait très basse et la bande passante de puissance très élevée.

Il est important de noter qu'il serait également impossible d'employer la méthode SMPTE de mesure de l'intermodulation pour détecter cette intermodulation, car la méthode SMPTE ne permet de mesurer que l'intermodulation statique.

Cet exemple montre comment un petit trucage permettrait de fausser les méthodes de mesure habituelles. Cela ne veut pas dire que les constructeurs utiliseraient ces trucages délibérément, mais il existe un certain nombre de mécanismes «incorporés» qui effectuent la même manœuvre.

1. - On incorpore habituellement un réseau RLC à la sortie d'un amplificateur de puissance pour assurer une stabilité pendant la charge de la sortie capacitive. Il se conduit comme un filtre au

dessus de 50 kHz, et diminue en général la THD de  $-2$  à  $-6$  dB dans la bande 20-30 kHz, selon le spectre harmonique.

2. - En général, la courbe de déphasage de l'amplificateur n'est pas toujours exactement de  $-90^\circ$ . Ce décalage peut affecter l'amplitude d'une harmonique donnée jusqu'à  $-10 + 20$  dB.

3. - Certaines harmoniques peuvent se trouver en dehors de la bande passante en boucle fermée, au dessus de laquelle une atténuation supplémentaire de  $-6$  à

$-18$  dB/Octave se produit. Autrement dit, on peut affirmer que la plus grande partie de la distorsion en haute fréquence se produit dans l'étage pilote. Les composantes harmoniques des ultra-sons peuvent alors être atténuées dans les étages de sortie.

Cet effet risque de provoquer une réduction de  $-2$  à  $-20$  dB de la valeur de THD dans la bande des 20-30 kHz, selon la bande passante de l'amplificateur en boucle fermée.

Comme on peut le voir, ces effets diminuent la valeur de la spécification de la bande passante de puissance, c'est pourquoi nous

n'avons pas essayé dans ces articles, d'établir une corrélation entre la bande passante et la méthode CCIF-IM ou la méthode DIM.

La définition de la bande passante de puissance serait beaucoup plus valable si elle n'était pas spécifiée avec 1% de THD, mais disons 0,1% CCIF-IM pour n'importe quelle combinaison de signaux de bande passante. Comme on le voit dans le tableau 3 et d'après ce que l'on sait, une THD de faible valeur, combinée à une bande passante raisonnable peut même dans certains cas indiquer la présence d'une DIM importante.

**Page non  
disponible**

# La chronique subjective par Amadeus

*Suivant la logique de mes premières chroniques, je devrais, cette fois vous entretenir des problèmes rencontrés par les audiophiles dans le bon choix et la bonne utilisation des préamplificateurs et des amplificateurs.*

*Mais comme, pour ce faire, il m'aurait fallu vous expliquer pour quelles raisons tel ou tel amplificateur «sonnait» mieux que ses congénères, et que ceci nous aurait entraîné sur le terrain malaisé de la technique pure, j'ai préféré, dans un premier temps, demander à quelques autorités en la matière de nous éclairer, vous comme moi, sur ce qui, d'après eux, pouvait expliciter à coup sûr la relation entre qualité subjective et conception technique.*

*Nous allons donc ensemble écouter quelques avis éminents et puis, si vous le voulez bien, je vous donnerai malgré tout, au risque de paraître prétentieux, mon avis personnel.*

Permettez-moi tout d'abord de corriger une erreur de frappe apparue dans ma dernière chronique à propos de la formule de calcul de l'Overhang. Il fallait lire :  
Overhang (cm) =  $1,5 + 0,08(27-L)$  et non  
Overhang (cm) =  $1,5 + 0,8(27-L)$ .

Avec 0,8 au lieu de 0,08, les résultats devenaient aberrants et j'espère que la plupart d'entre vous aura spontanément corrigé. Quant aux autres, tous ceux qui

auront repercé leur platine toute neuve, tordu ou jeté aux ordures leurs super-bras, ils ne me pardonneront pas, c'est l'évidence. A moins que le réglage précédent ait été au moins aussi faux et qu'ils n'aient pas constaté de différence ! Mille excuses.

Mais revenons aux amplificateurs.

Et d'abord, voici les personnalités dont j'ai eu la chance de re-

cueillir l'avis, pour la plupart durant leur passage à Paris à l'occasion du dernier Festival du Son.

- Per Abrahamsen, un des pères norvégiens du fameux ensemble ampli-préampli ELECTROCOMPANIET

- Gerard Chrétien de l'Audio-ophile

- Richard Hay, ingénieur de chez NYTECH, auteur de l'ampli-tuner bon marché le plus curieux et le plus musical du monde.

- David Hafler, fondateur de DYNACO, d'ORTOFON et auteur du déjà fameux préampli DH 101 dont les milieux underground commencent à penser qu'il est, sur le plan sonore, un outsider dangereux des LEVINSON ML 1, THRESHOLD NS 10, DAYTON WRIGHT SPA et autres monstres sacrés, sacrement plus chers.

- Jean Hiraga, qu'il ne m'est pas besoin de présenter à tous ses fervents lecteurs de l'Audiophile.

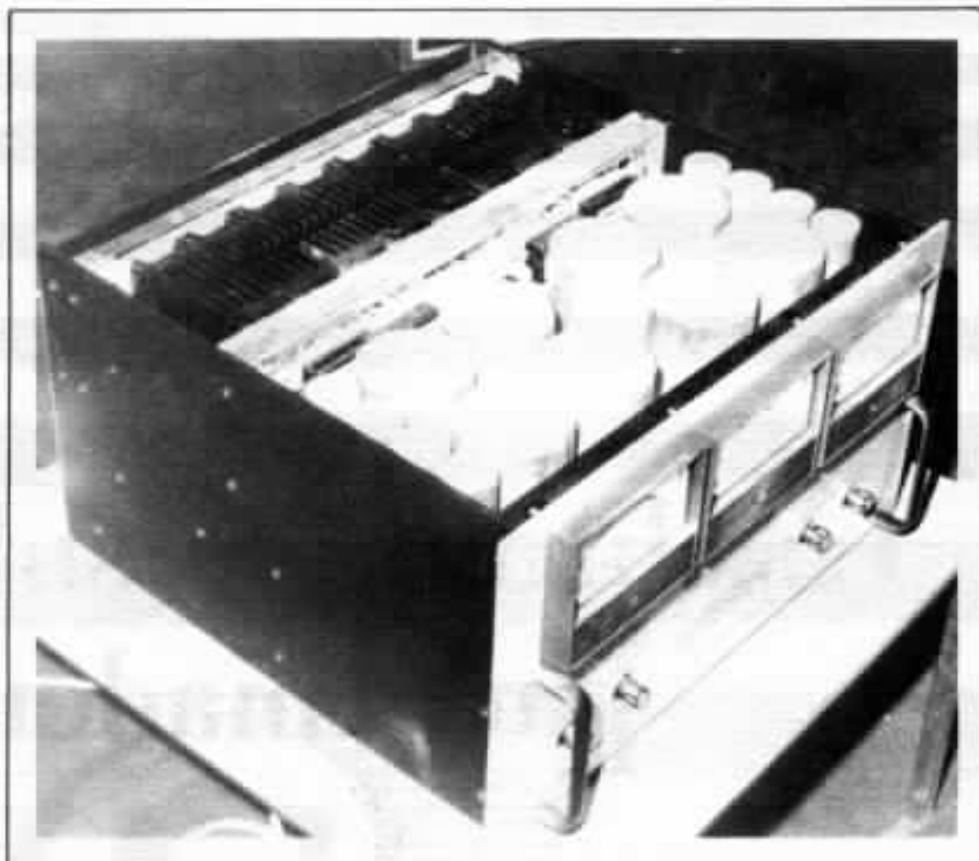
- William Johnson, fondateur d'AUDIO RESEARCH CORPORATION, avec à son palmarès de créateur exceptionnel de nombreux composants prestigieux comme l'ampli DUAL 150 et le préampli SP3, le seul capable de reproduire aussi exactement la profondeur de l'image, et que ses heureux possesseurs feraient bien de conserver malgré ses quelques imperfections, celles-ci étant facilement supprimées par une récente modification particulièrement efficace.

- Léon Lequinquis, ingénieur à Europe 1 bien connu des lecteurs assidus de l'Audiophile pour son excellent article sur le QUAD 405 paru dans le N° 1.

- Le Professeur Tominari, Président de la firme japonaise ON-LIFE, créateur du bras DYNA-VECTOR, des cellules ULTIMO et des amplis et préamplis à tubes ONLIFE, célèbre au Japon pour ses connaissances exceptionnelles en matière de musique classique qui en font un des meilleurs critiques musicaux japonais.

## PREMIERE APPROCHE

**Pour faciliter les débats, la première question posée à chacun était identique : Quel est, d'après vous, le point le plus important pour le résultat sonore final, dans**



*Amplificateur Audio Research D350.*

### la conception d'un circuit d'amplification ?

Autant de réponses que de spécialistes, ou presque ! Jugez-en.

- Per Abrahamsen : Pour lui, plusieurs facteurs interviennent, qui sont, pour la plupart, intimement liés, la largeur de la bande passante, liée à la rotation de phase dans la bande audible, le Slew-rate et la distorsion d'intermodulation transitoire et, recherche plus récente, le spectre des harmoniques élevés de la distorsion qui doit être très régulier, même lorsque les niveaux sont inférieurs de 100 dB au signal original.

- Gérard Chrétien fait remarquer que selon l'avis de nombreux concepteurs, la dynamique doit, avant tout, être respectée. En effet, entre deux amplis de même qualité, les phrasés et les vibrations des cordes peuvent dis-

paraître sur l'un des modèles si la dynamique n'est pas correctement reproduite. Pour l'obtenir, le facteur prépondérant est la linéarité de tous les composants, notamment des transistors qui doivent être soigneusement triés. Une méthode pour améliorer la dynamique consiste aussi à utiliser des faibles signaux dans des étages à forte tension d'alimentation, ceux-ci fonctionnant alors de façon linéaire.

- Richard Hay : Pas de facteur prépondérant. Pour lui, le slew-rate est à soigner tout particulièrement, de même que la stabilité, afin de conserver la qualité de la restitution sur charge non résistive. Richard Hay résume sa position en précisant qu'une bonne conception électronique de base suffit à donner des résultats de qualité mais que les mesures traditionnelles ne donnent aucune indication de la qualité sonore fina-

le, de nouveaux paramètres restant à découvrir. Il pense, quant à lui, que le plus adéquat serait la «quantité d'information» réellement transmise, mais comment la mesurer ?

- David Hafler : La bande passante doit être réduite au strict nécessaire pour éviter d'introduire dans la zone de sensibilité de l'oreille les distorsions produites hors bande par tout circuit électronique.

- Jean Hiraga : A tous les facteurs traditionnels évoqués, Jean Hiraga ajoute que ceux-ci interviennent encore plus en comportement transitoire et que rien ne sert de les améliorer uniquement en fonctionnement statique. Pour lui, la stabilité par exemple doit être travaillée en régime dynamique, donc sur un signal musical.

- William Johnson : La stabilité, la stabilité toujours, la stabilité partout. C'est le paramètre essentiel, la loi absolue. Les autres sont accessoires : bande passante, slew-rate, facteur d'amortissement, distorsion, etc...

- Léon Lequinquis : Pour lui,



*Préamplificateur Audio Research SP4.*

les amplis sont suffisamment bons sur la plupart des caractéristiques essentielles si le design du circuit a été bien fait. La différence audible ne provient que des possibilités limitées des amplificateurs en termes de puissance et de stabilité. Les autres facteurs évoqués restent, pour lui, inaudibles si le circuit est correct car, explique-t-il, le signal musical sonore n'atteint jamais ni les niveaux, ni la vitesse que les amplis bien faits peuvent accepter.

- Professeur Tominari : C'est

de la valeur du Slew-rate ou plus encore de la répartition des constantes de temps entre les différents étages que la qualité sonore dépend essentiellement.

Voilà. Cette énumération était nécessaire. Reprenons maintenant les principaux points évoqués pour en savoir plus.

## **LA BANDE PASSANTE**

**Celle-ci doit-elle être étendue au delà des traditionnels 20-20000, de combien, et pourquoi ?**



*Préamplificateur Hafler.*

Richard Hay, Léon Lequinquis pensent que cela joue peu sur le résultat final.

Le Professeur Tominari et Jean Hiraga, ajoute que si la bande passante de chaque étage est étendue, le résultat sera meilleur car la contre réaction fonctionnera correctement. Une coupure volontaire de la bande passante à la sortie n'aura alors pas d'effet sonore. William Johnson ajoute que la bande passante doit être impérativement réduite pour des raisons de stabilité et que plus de 22 kHz lui paraissent inutiles, la fréquence de 22 kHz correspondant à l'extrême limite d'émission des instruments de musique. David Hafler plaide, quant à lui, pour une réduction impérative afin d'éliminer la distorsion hors-bande à effets secondaires audibles.

Par contre Per Abrahamsen pense que la bande doit être la plus large possible, sans coupure, afin que la rotation de phase soit minimale dans la bande passante, minimisant ainsi les distorsions temporelles, génératrices d'effets de masque très gênants et malheureusement fréquents dans les amplis traditionnels.

## TUBES OU TRANSISTORS

**L'un sonne-t-il mieux que l'autre, et pourquoi ?**

Pas de réponse satisfaisante sinon que les tubes ont généralement un son plus naturel, mais aucune explication vraiment définitive n'en est donnée. Richard Hay pense que seule la qualité des circuits est en cause et que les circuits à transistors sont finalement, à l'expérience, plus faciles à bien faire, grâce notamment à la suppression du transformateur de sortie.

Comme il n'y a pas grand enseignement à trouver dans cette vieille querelle, passons à autre chose.



*Ampli-tuner Nytech.*

## CLASSE A - CLASSE AB - CLASSE B

**Quel est l'effet du choix de la classe de fonctionnement d'un amplificateur sur le résultat d'écoute ? Quel est le meilleur choix ?**

Pour la quasi unanimité, c'est un faux problème. Tous pensent que les problèmes de la distorsion de croisement sont parfaitement maîtrisés et Gérard Chrétien remarque que certains vont même jusqu'à dire que la classe B sonne mieux, notamment sur le plan de la dynamique. Mais que par contre l'alimentation étant beaucoup plus critique en classe AB ou B qu'en classe A, des différences peuvent apparaître à cause de ce

point sur des amplis imparfaits.

Le Professeur Tominari, qui utilise des systèmes de haut-parleurs à haute efficacité, affirme au contraire que dans ce cas, la distorsion de croisement reste audible.

Quant à Per Abrahamsen, il ne fait fonctionner son amplificateur en classe A que pour avoir un point de fonctionnement des transistors idéal en terme de fréquence de coupure.

Tous les participants pensent que le son particulièrement clair des amplificateurs en classe A vient d'autres paramètres (Alimentation...).

Richard Hay a le mot de la fin :



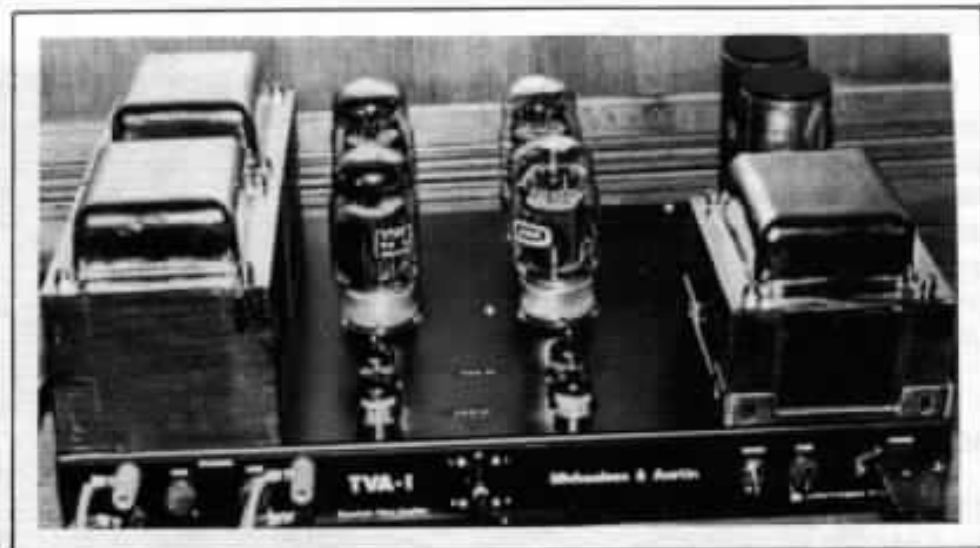
«Class A is interesting for cooking»!

## L'ALIMENTATION

Quel est l'effet du circuit d'alimentation, supposé de taille suffisante, sur le son produit par un amplificateur ? Doit-on en utiliser une ou deux séparées ?

Jean Hiraga fait tout d'abord remarquer que mettre deux alimentations séparées dans un amplificateur est sans effet si la stabilité de l'alimentation est respectée et qu'elle a la possibilité de débiter suffisamment, suffisamment vite.

Le Professeur Tominari insiste sur le fait que l'alimentation doit avoir une impédance de sortie très faible et très linéaire en fonction de sa fréquence. Les capacités de filtrage électrochimiques étant incapables de respecter cette linéarité, il adjoint des condensateurs au papier en parallèle qui linéarisent l'impédance. Sans cette précaution, le son serait dur. La réponse



*L'amplificateur Michaelson et Austin.*

en courant à haute fréquence est donc, pour lui, le facteur déterminant.

Pour Gérard Chrétien, la qualité des électrochimiques (résistance faible) est essentielle pour la réponse en basses fréquences. Leur valeur est moins critique.

Richard Hay et Léon Lequin-

quis précisent que, sur ce point encore, il s'agit tout simplement d'un bon design, et que les découplages doivent être très soignés et les connexions très courtes.

Quant à William Johnson, il prône une alimentation surdimensionnée afin de maintenir la stabilité.

## LA REPONSE EN PHASE

La réponse en phase d'un circuit amplificateur a-t-elle une influence sur sa qualité sonore ?

L'unanimité, ou presque : cela ne s'entend pas. Motif invoqué : les rotations de phase sont beaucoup plus importantes dans les haut-parleurs. Et puis la source sonore a déjà tellement subi de déformation de la phase que le peu apporté par l'amplificateur est négligeable.

Pour David Hafler, le phénomène est totalement inaudible. Pour William Johnson, une phase linéaire n'a d'intérêt que parce qu'elle améliore la stabilité. Le Professeur Tominari ne croit pas aux systèmes de haut-parleurs en phase, pas plus que Richard Hay, ce qui leur fait penser que les dé-



*Préamplificateur Dynavector.*

phasages ne s'entendent pas.

Seul, Per Abrahamsen maintient son point de vue. Il précise que la seule raison réelle de faire un ampli qui passe le continu est justement d'avoir un déphasage minimum à 20 Hz, même si les constructeurs n'ont pas toujours fait le rapprochement.

Voilà donc encore un sujet de polémique !

## LE FACTEUR D'AMORTISSEMENT

**Est-il nécessaire qu'il soit élevé ? Pourquoi ?**

Réponse mitigée. Si certains insistent sur la linéarité du facteur d'amortissement avec la fréquence, c'est pour éviter qu'il y ait réinjection du signal provenant du haut-parleur vers l'ampli, qui risquerait d'en être perturbé. Ce risque est cependant considéré comme négligeable par la plupart des personnalités interrogées. Alors ?

Le Professeur Tominari fait part d'un calcul mathématique qu'il a réalisé et qui montre qu'un facteur d'amortissement de plus de 4 ou 5 dans un amplificateur possédant une boucle de contre-réaction ne peut plus rien apporter.

Léon Lequinquis trouve que l'importance apportée dans la documentation des fabricants d'amplificateurs au facteur d'amortissement est purement publicitaire et ridicule.

Pour certains auteurs, d'après Gérard Chrétien il est impossible à l'amplificateur d'amortir convenablement le haut-parleur, sauf peut-être dans les systèmes bass-reflex à haut-rendement. L'interface ampli-haut-parleur constituant un oscillateur électrico-



*Amplificateurs Mark Levinson ML2.*

mécanico-acoustique très difficile à contrôler.

Quant à William Johnson, il constate que les enceintes commerciales actuelles sont déjà suramorties et que, par conséquent, un facteur de 1 suffirait.

## LE PREAMPLI POUR CELLULE A BOBINE MOBILE

**Le transformateur est-il préférable au pré-préampli ?**

Richard Hay préfère le pré-

préampli qu'il trouve plus facile à réaliser et meilleur marché, mais il ne voit aucune raison pour que le transformateur bien réalisé ne soit pas aussi bon. Léon Lequinquis préfère le transfo, meilleur sur le plan du bruit de fond. Il profite d'ailleurs de cette question pour préciser que les rapports signal/bruit annoncés pour les préamplis du commerce sont mathématiquement faux puisque supérieurs au maximum théoriquement réalisable. Malheureusement les transformateurs ont également des problèmes de bruit de



*Amplificateur Electro companiet.*

fond car le blindage en est particulièrement délicat.

Les autres interlocuteurs n'ayant pas d'avis particulier préfèrent en général les meilleurs transformateurs existants aux meilleurs pré-préamplis.

## CONCLUSION

Si je peux me permettre d'apporter quelques commentaires personnels à ce débat, je voudrais d'abord vous faire remarquer combien sauf sur quelques points particuliers, l'unanimité semble difficile à obtenir.

Que faut-il en conclure ?

D'abord qu'il est très dangereux d'écouter les arguments techniques évoqués par les fabricants pour se forger une opinion sur un amplificateur ou un préamplificateur. Qu'au stade actuel de la technique, il reste beaucoup à découvrir et qu'au-

jourd'hui, seule l'oreille peut servir de juge face à un produit.

Et enfin que, si même les plus compétents ne sont pas tout à fait sûrs aujourd'hui de savoir pourquoi leur amplificateur sonne mieux ou moins bien, il nous reste l'espoir que, lorsqu'ils le sauront, ils nous concoctent tous, très vite, à très bon marché, des vraies merveilles. L'espoir fait vivre !

Pour revenir sur le débat, laissez-moi vous dire que je ne partage pas tous les avis émis. Je suis, pour ma part très friand des circuits rapides à très large bande (ELECTRORESEARCH, ELECTROCOMPANET, préamplis AGI et THRESHOLD NS 10) et des amplis qui passent le continu pour avoir des belles basses. Je crois beaucoup aux alimentations surdimensionnées même dans les préamplis (KANEDA), je préfère les transfos aux prépréamplificateurs et le facteur d'amortisse-

ment me paraît important pour éviter l'effet ricochet que je trouve pour ma part sensible dans les réalisations dotées d'un transformateur de sortie. Voilà.

Mais ce n'est que mon avis et cela n'explique pas du tout pourquoi d'autres amplis, à tubes notamment, qui n'ont pas ces caractéristiques sonnent parfois si bien.

Je vous laisse y réfléchir. Ma prochaine chronique sera consacrée aux systèmes de haut-parleurs.

**Page non  
disponible**

# Les contacts : un point d'importance

Jean Hiraga

*La lutte contre la pollution sonore semble de mieux en mieux organisée.*

*Cependant, il est nécessaire de répéter sans cesse l'importance de la qualité des contacts électriques entre les maillons (et dans ces maillons), tels que contacteurs, inverseurs, sélecteurs. Car si chacun connaît les effets redoutables des mauvais contacts, bien peu se préoccupent d'y consacrer un entretien quasi permanent. Ce qui est regrettable.*

*Les contacts restent encore un point faible dans une chaîne Hi-Fi, même de haute qualité. Prenons l'exemple de quelques sélecteurs, présentés en boîtier séparé, et destinés à relier plusieurs préamplificateurs. La plus grande majorité posent des problèmes de mauvais contacts dès les premiers mois d'utilisation. Choisissons encore le cas de quelques sélecteurs montés dans des appareils récents, sur carte imprimée ou de potentiomètres à glissières : mêmes ennuis, se présentant aussi bien sur un appareil à 100 F qu'à 10.000 F.*

*Cette question de bon contact électrique passe donc avant tout : avant le choix d'une meilleure cellule, avant le choix d'un autre tweeter, avant le choix d'un câble de haut-parleur dit de «haute définition». Cette fois ces différences, entre bons et mauvais contacts sont très franches, à l'écoute comme à la mesure et méritent d'être analysées de plus près.*

## **Préamplificateur à tubes : Plus de 100 contacts internes.**

Citons le cas d'un préamplificateur à tubes de qualité, utilisant quatre tubes par canal, monté sur cartes imprimées enfichables, avec sélecteur d'entrées, de mode (mono/stéréo/reverse), inverseur monitoring, inverseur direct/tonalités, etc... Vu qu'il y a 9 broches par tube, dont 6 à considérer, nous arrivons ainsi à une moyenne de 60 à 80 contacts pour un appareil de ce genre.

Chacun de ces contacts possède une résistance, dite résistance de contact, qui, bien que faible, peut passer à des valeurs importantes dans le cas d'oxydation, corro-

sion dûs principalement à l'humidité. Même dit «bon», il est rarement inférieur à 50 milliOhms. Ce n'est malheureusement pas l'équivalent d'une résistance pure montée en série, mais la plupart du temps c'est un composé résistance/capacité/self de grande instabilité si ce contact n'est pas franc. Ceci se traduit par une augmentation importante de la distorsion générale, une perte sensible de niveau aux fréquences élevées.

Ainsi on a pu voir, ou plus exactement entendre qu'entre deux préamplificateurs, l'un avec liaisons directes, l'autre passant à travers tous les artifices enjolivant

la face avant, celui à liaisons directes était incontestablement meilleur, et de loin. Dans le haut de la gamme, il faut remarquer que soit les contacts sont très soignés, soit le nombre de ces contacts est réduit au strict minimum.

## **Contacts : Qualité des composants.**

On ne doit pas attribuer au toucher, par exemple le cliquetis sec et précis d'un sélecteur d'entrée, la qualité du contact électrique. Il ne s'agit que d'un artifice mécanique, qui, retiré, laisse tout amateur plus qu'inquiet, tant ce contact semble fragile. Un bon



### Prises de connexion Cynch : propreté permanente.

Les professionnels de la Hi-Fi ne touchent jamais du doigt les contacts, les prises de connexion.

Les prises DIN sont protégées par une couronne extérieure, mais ce n'est pas le cas de la prise Cynch (appelée aussi RCA aux USA) pour laquelle le point chaud dépassant peut se trouver facilement en contact avec des doigts malpropres. Qu'arriverait-il si nous touchions la lentille d'un objectif photographique avec des doigts gras ?

respectées. Même si respectées, celles-ci vont se trouver bouleversées après un an d'usage ou après passage en climat humide. C'est ce que montrent les figures et résultats de mesures que le lecteur trouvera dans cet article. Comme on le voit on est loin des dites «spécifications» ou «normes».

### Comment mesurer la résistance de contact ?

Un Ohmmètre courant ne peut y arriver. Il faut pour cela des appareils de mesure spéciaux très sensibles, dont les meilleurs ne

dues à la résistance entre la sonde de contact et la pièce à mesurer, ainsi que la résistance reliant la sonde et l'appareil même. Ajoutons que ce genre d'appareil ne se trouve que très rarement dans le commerce. Bien utilisé, il fait merveille : réalisation de circuits imprimés, câblage, recherche de soudures «sèches», de mauvais contacts, de résistance de masse minimale, etc.

### Bande passante des contacts : Une performance qui peut se mesurer.

La «bande passante» d'un contact est une chose que tout amateur connaît : si celui-ci laisse à désirer, perte dans les aigus, distorsion, parfois même disparition d'un canal.

La figure A montre comment il est possible de démontrer les différences apportées par un sélecteur d'entrée ou plusieurs inverseurs. Il est bien entendu que la liaison directe est toujours de qualité supérieure. De plus, on peut remarquer que ces différences s'étendent aussi sur la qualité des métaux composant ces inverseurs : cuivre plaqué argent, cuivre plaqué rodium, cuivre plaqué or.

Comme on le voit sur la figure, si un seul contact rend difficile une comparaison auditive, sept ou huit de ces contacts en série rendent cette fois les différences nettes.

Ces considérations nous rapprochent donc de celles des câbles audio; car en effet le matériau même intervient dans le résultat. Mais rappelons encore que plutôt que d'utiliser des matériaux classiques plaqués or ou argent, il est préférable d'utiliser des matériaux non magnétiques et de très haute pureté, conclusions restant définitives. La figure montre aussi les différences ressenties par une série de potentiomètres montés en série, mais en bout de course, qui ne devraient donc apporter aucune différence audible; on doit no-

### Contacteurs et sélecteurs rotatifs : quelques spécifications courantes

#### Support de tube miniature noval :

Résistance supérieure à 2000 M $\Omega$  (isolation)  
Résistance de contact 10 à 100 milliOhms  
Test 2000 Volts/1 minute

#### Connecteur de carte imprimée :

Résistance d'isolement : 3 à 5 x 10<sup>9</sup> $\Omega$   
Résistance de contact : 10 à 100 milliOhms (sous 2 V, 1 A)

#### Connecteur automatique pour câble haut-parleur (bouton poussoir) :

Résistance d'isolement : plus de 500 M $\Omega$   
Résistance de contact : de 30 à 150 milliOhms

#### Connecteur de chassis à prises Cynch femelles :

Résistance d'isolement : 60 à 150 M $\Omega$   
Résistance de contact : 30 à 100 m $\Omega$  (milliOhms)

#### Prise Jack de casque :

Résistance d'isolement : 30 à 60 M $\Omega$   
Résistance de contact : 30 à 100 m $\Omega$

#### Contacteur rotatif (pour sélecteur d'entrée) :

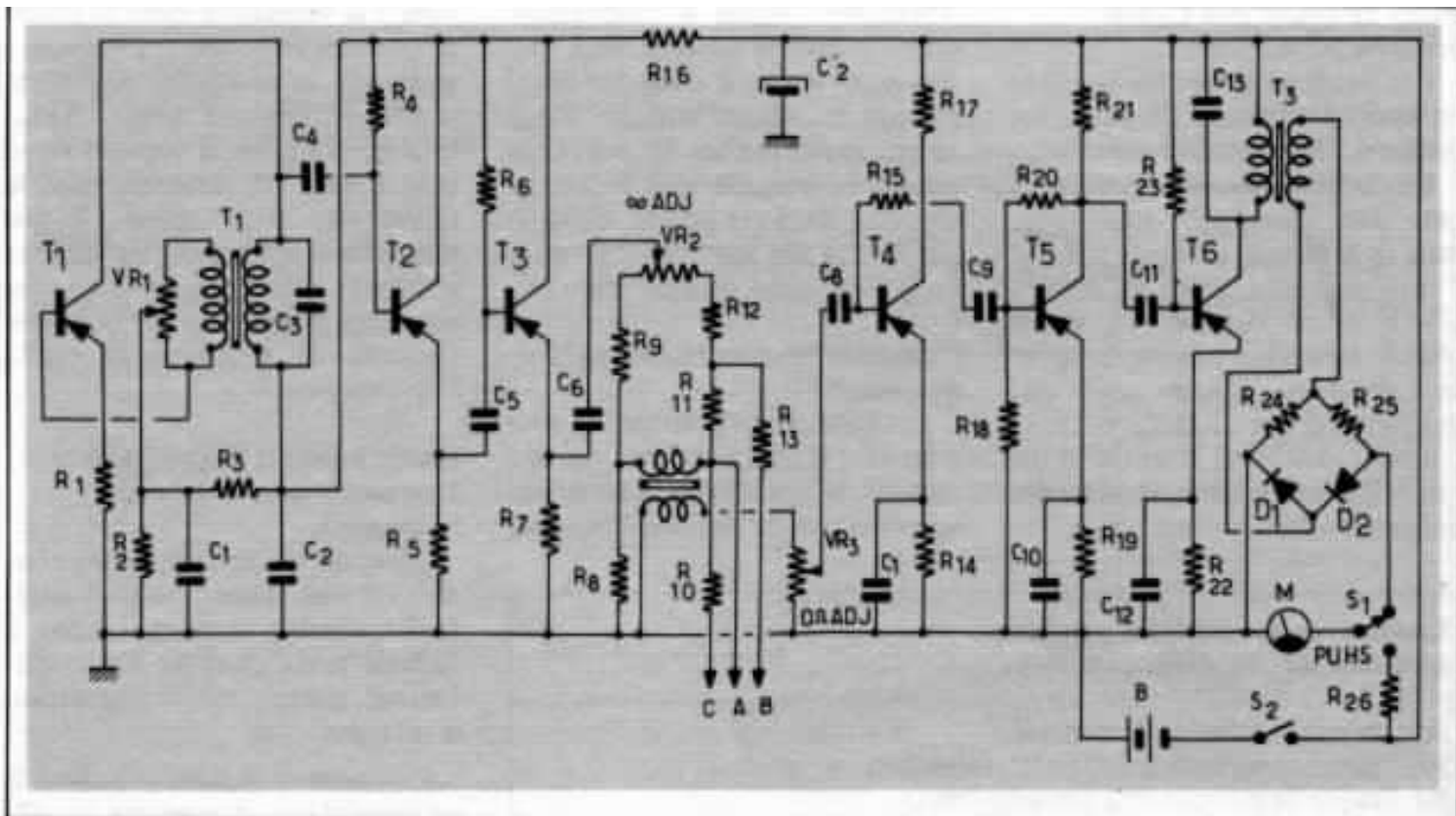
Capacité : 1 A à 2,5 V, courant continu  
Résistance de contact : de 20 à 100 m $\Omega$  (sous 2 V, 1 A)  
Tension d'isolement : de 500 à 1500 V (essai 1 minute)

Ceci pour prendre quelques exemples courants. Cependant, malgré les très nombreuses spécifications telles que : U.L. MIL, SEMKO, DEMKO, CSA, etc, la fiabilité d'une marque à une autre pour la même spécification n'est pas toujours égale...

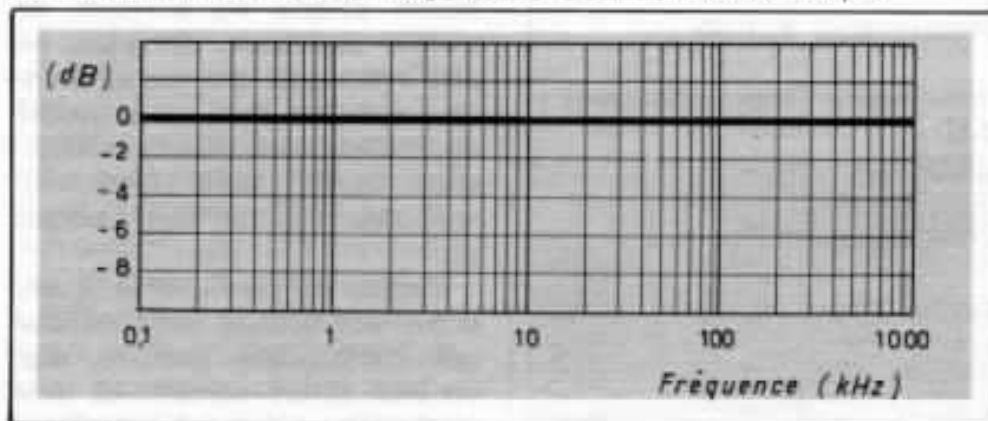
Mais il ne s'agit que de spécifications techniques, parfois mal

sont pas seulement simples et précis, mais utilisent un très faible courant, nécessaire pour ne pas modifier la résistance de contact.

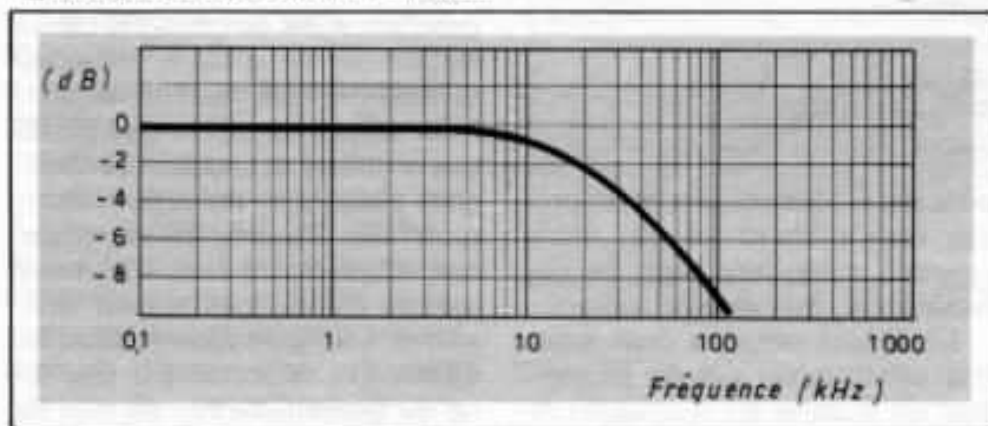
Le lecteur trouvera deux schémas relativement simples permettant de mesurer les résistances de contact jusqu'à de très faibles valeurs. Ces circuits évitent d'autre part en grande partie les erreurs



Circuit d'un appareil d'origine japonaise. C. A. B. sont reliés à une sonde blindée. Cet appareil peut mesurer avec précision 5 mΩ, en déflexion totale, avec un courant inférieur à 1,2 mA, tension 140 μV.



Bande passante d'un bon contact (prise Cynch mâle + femelle de chassis). Résistance de contact : 30 mΩ.



Bande passante du même contact, mais après un an d'usage dans un endroit humide. Résistance de contact 800 mΩ (valeur instable). Remarquer la chute de niveau dès la fréquence de 8000 Hz.

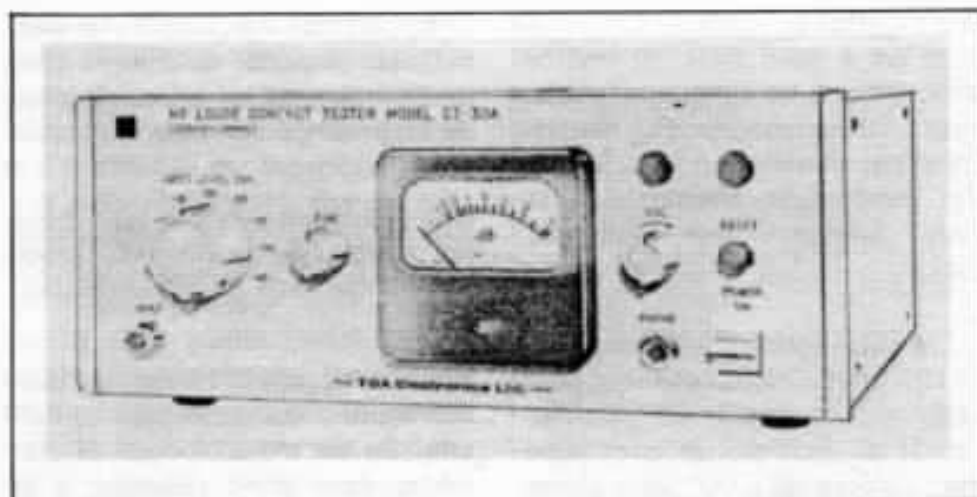
ter ici aussi que les contacts piste/contact sortie se font indirectement, par l'intermédiaire d'œillet métallique. On peut donc penser que le contact à cet endroit n'est pas certain et peut perdre en fiabilité pour raisons chimiques (provoqué par exemple par un résidu corrosif de flux de soudure) ou pour raisons d'oxydation.

### Contacts : un effet de pile électrique ?

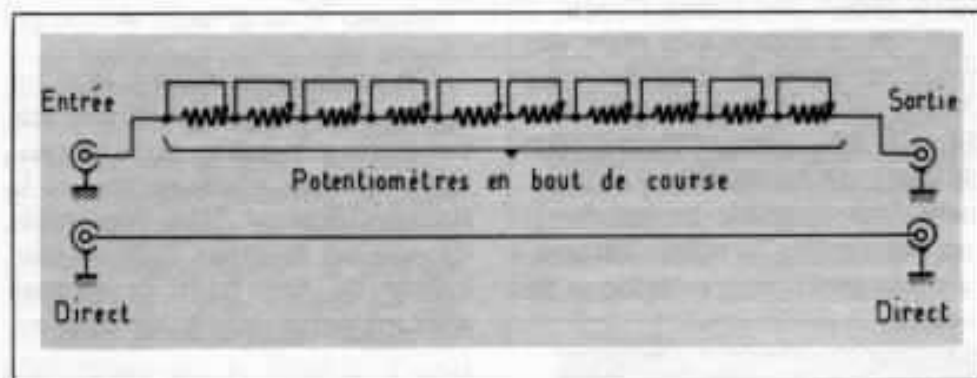
Celui-ci est facilement mis en évidence avec un casque haute impédance et deux métaux différents, légèrement oxydés, mis en contact ou frottés l'un contre l'autre, et qui provoquent un grésillement, c'est-à-dire la génération d'une tension notable par effet électro-chimique.

A cet effet doit aussi s'accompagner celui d'un effet redresseur. Les contacts dans un appareil se font le plus souvent par l'intermédiaire de métaux les plus variés : plomb, aluminium, argent, cuivre, or, nickel, rodium, carbone, etc. dont plusieurs sont utilisés dans les piles électriques. Ils peuvent poser de graves problèmes pour la réalisation d'appa-





*Appareil japonais de marque TOA, référence CT 20A (fréquences audio, CT 30A, haute fréquence) permettant de mesurer avec précision la bande passante des contacts. C'est un appareil très rare et utile. Son prix est abordable.*



*Effet de la résistance de contact et la qualité auditive. Plusieurs potentiomètres ou inverseurs montés en série permettent une comparaison efficace et sensible.*



*Essais faits en insérant cet ensemble dans un circuit de basse impédance, pour éviter les problèmes de capacité de câblage. De tels essais montrent aussi que des différences audibles existent suivant la marque et la provenance du composant. Exemple : son franc mais assez dur pour les contacts dorés; son plus mou et moins détaillé pour les contacts au rodium. Impression de distorsion pour certains contacts étamés ou nickelés.*

reils de mesures très sensibles tels que voltmètres audio, distorsiomètres de haute qualité. On peut y trouver des composants fortement surdimensionnés alors que le courant est faible, tels que des fils de section 3 mm ou des inverseurs de capacité 50 ampères.

### Entretien

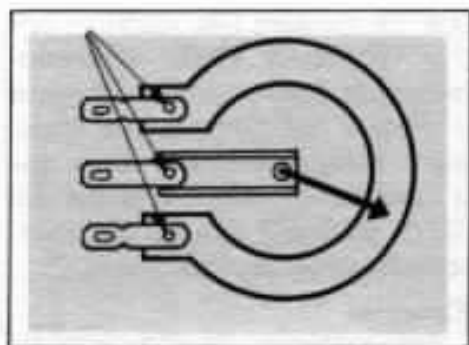
De nombreux produits et bombes existent mais ne sont pas toujours recommandés. Certains sont fortement conducteurs et peuvent apporter des résultats catastrophiques. Citons le cas d'un amateur qui avait injecté un jet d'huile spéciale (demi-conductrice) sur le support stéatite de l'étage d'entrée d'un préampli à tubes. Le grésillement et les mauvais contacts n'avaient pas non seulement disparus, mais il se produisait un accrochage et un ronflement énorme. Un nettoyage soigneux avec du coton et de l'alcool n'y faisait rien. Finalement le support du tube avait dû être remplacé. De l'huile, demi-conductrice ou non, injectée dans un potentiomètre malpropre ou un sélecteur rotatif peut empirer les résultats : il va se former à la longue, une sorte de «boue» composée de poussières, d'huile, et autres impuretés qui augmenteront l'insécurité du contact.

N'oublions pas que le courant n'est jamais important, que quelques microampères est une valeur courante, et que la plus légère variation de courant est catastrophique.

Même à bien plus grande échelle, citons le cas d'une lampe de poche, qui, bien que neuve et malgré ses contacts qui donnent visuellement un aspect propre et brillant, se met à scintiller...

En passant donc aux aérosols et bombes, divisés en deux : huiles conductrices et huiles isolantes, il est préférable de se passer... des deux. La plupart sont de type non évaporable et laissent un résidu.

Les professionnels utilisent parfois le produit chimique dit «Tétrachlorure de carbone» qui est



Oeillets de fixation des pattes de sortie d'un potentiomètre. La corrosion, un mauvais œilletage (trop lâche), de la résine provenant d'une soudure mal réalisée augmentant la résistance de contact.

certainement le plus efficace. Il peut s'obtenir en pharmacie et chez les détaillants de produits chimiques. Il permet, avec l'aide de pinceaux, de batonnets enrobés de coton, etc, de faire un nettoyage parfait, sauf pour les par-

ties oxydées en surface. Ce nettoyage est à faire dans un endroit aéré, vu que les vapeurs dégagées sont inflammables et nocives (peuvent provoquer à la longue des dommages irréparables au corps humain : foie, pancréas, etc).

Un autre produit ne laissant pas de résidu est l'alcool pur, qui peut également s'obtenir en pharmacie. Il ne faut pas le confondre avec l'alcool dit à 90°, ou l'alcool à brûler.

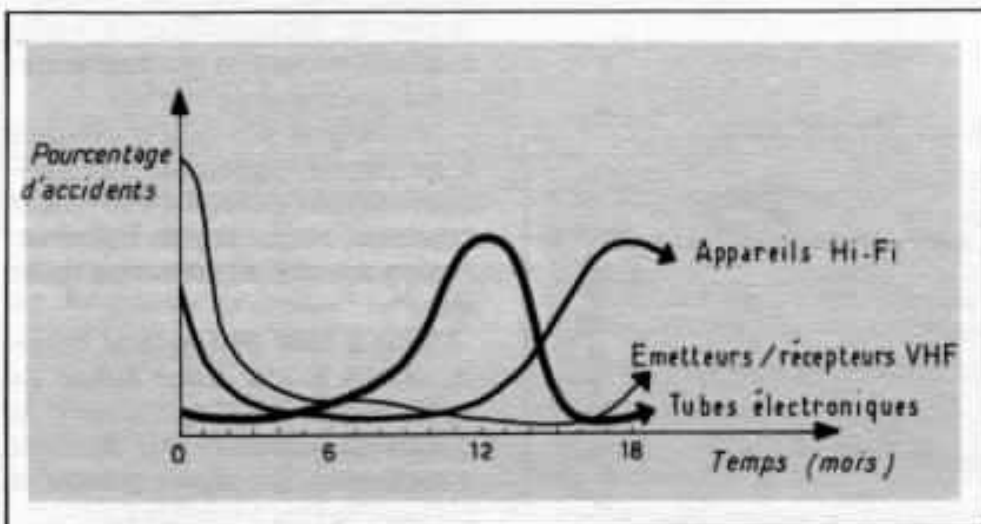
Pour les parties oxydées en surface (légère oxydation, rendant le métal terne) des prises Cynch, il vaut mieux utiliser à la place des produits abrasifs liquides, un abrasif sec sur toile ou papier, très fin, soit de gradation 2000 à 4000 (le grain de surface est pratiquement imperceptible au toucher), ceci pour éviter de retirer l'étamage ou la protection métallique de surface.

Après polissage, il suffit de bien nettoyer la partie métallique avec un tissu propre ou encore mieux, de la peau de chamois naturelle.

Ces opérations sont à faire pour les prises Cynch, mâles et femelles, les embouts de porte-cellules.

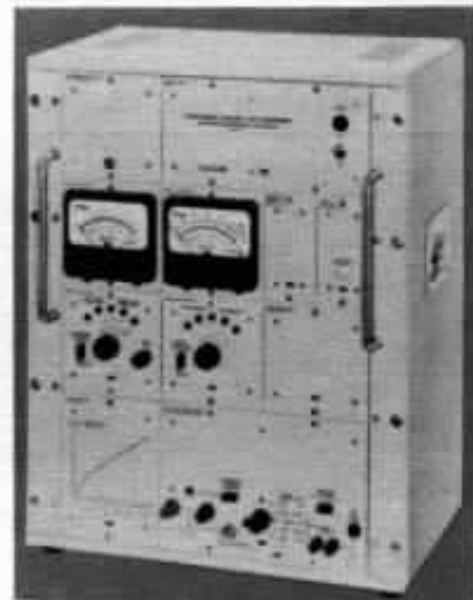
Pour les appareils récents ou bien entretenus, un nettoyage à l'alcool ou au tétrachlorure de carbone, suivi d'un polissage à la peau de chamois est suffisant. Répétons, chose très importante que tous les contacts, une fois nettoyés ne doivent jamais être touchés par les doigts.

Ces opérations sont à faire au moins une fois par an, et une fois par mois, minimum, pour les contacts entre le phonolecteur et le préamplificateur. Il est déplorable de voir un amateur utilisant une cellule de très haut de gamme avec un porte-cellule, un bras, un



(D'après Maintainability Programm requirements for Aerospace Systems and equipments, NASA, USA).

Courbes de fiabilité de quelques appareils et composants.



Appareil de mesure Radiometer (Danemark) «Component Linearity Test Equipment».

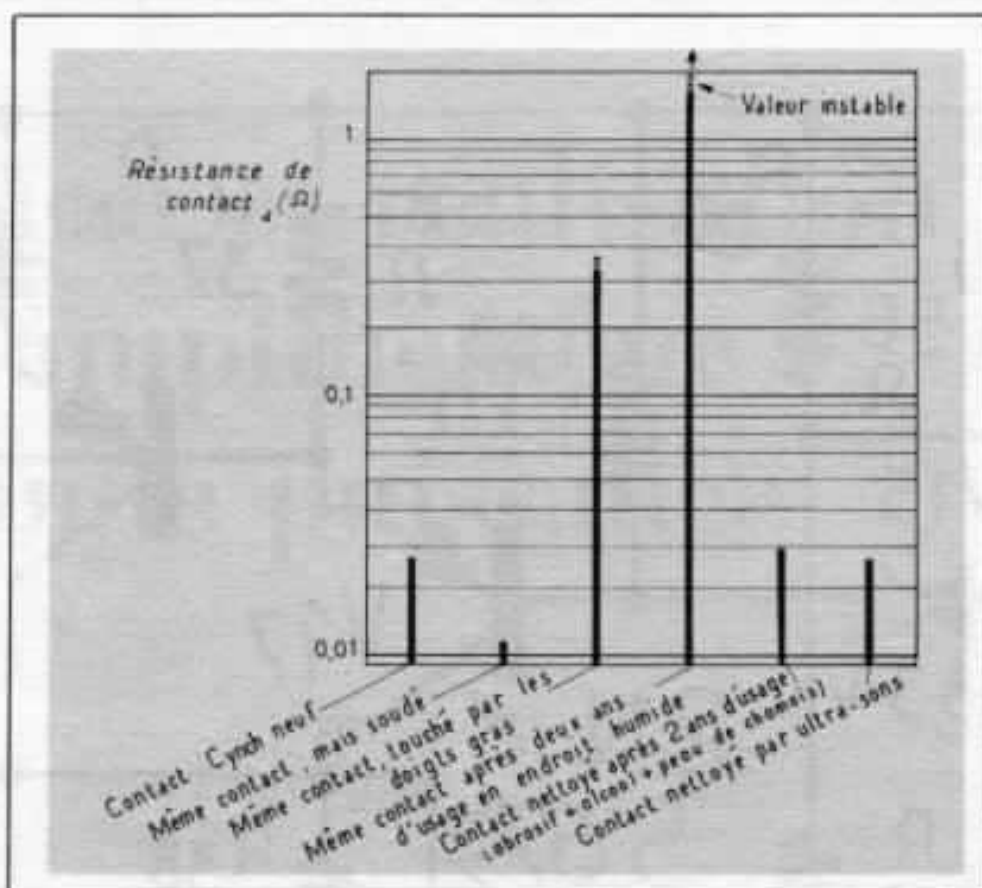
Il permet d'effectuer des mesures de distorsion à des niveaux atteignant — 160 dB.

câble bras/préampli aux contacts gras, noircis et mal soudés. Le nettoyage des sélecteurs d'entrées, inverseurs, est plus délicat et doit être fait par un spécialiste.

A noter également que les potentiomètres qui «crachent» proviennent le plus souvent d'un effet électrochimique entre l'axe central et la partie extérieure en contact avec le châssis. Il est facile d'y remédier en injectant d'abord soit de l'alcool pur, soit du tétrachlorure de carbone, puis ensuite de l'huile fine, si possible demi-conductrice, à l'aide d'un petit pinceau, ceci tout en faisant tourner l'axe. Pour les potentiomètres à glissière, le démontage impossible laisse la seule possibilité de nettoyage par le côté avant, en injectant par la glissière de l'alcool pur ou du tétrachlorure de carbone, sur la piste résistante, tout en faisant mouvoir la commande. Ce genre de crachement sur les potentiomètres à glissière est courant et peut arriver sur des produits *pratiquement neufs*, et n'est donc pas le résultat d'une usure excessive.

Et pour ceux qui utilisent des appareils de prix élevé, désireux de conserver les performances originales de leurs appareils, on peut leur conseiller quelques produits en boîte hermétique qu'il suffit de mettre dans l'appareil pour éviter les effets de l'humidité et de la corrosion. Le plus approprié est certainement celui que l'on trouve aux USA, de marque **STOR SAFE**, fabriqué par la Northern Instruments Inc. Il est utilisé couramment dans les avions, les fusées, les calculateurs électroniques et par la NASA et protège très efficacement contre la corrosion. (Northern Instruments, Como Ave. Bx 80094, St Paul, Minnesota 55108, USA).

On peut également utiliser les systèmes à ultra-sons, que l'on emploie pour le nettoyage des montres, des lunettes, etc, à condition de ne pas utiliser de liquide



*Variations de la résistance de contact d'une prise Cynch classique avec la femelle de châssis. (Produit japonais de bonne qualité).*



*STOR SAFE, boîtier contenant déshydratants et produits contre la corrosion. Se pose dans l'appareil. Pour une dimension réduite (50 x 21 x 32 mm) son efficacité est grande (150 litres). Est utilisé couramment dans les appareillages électroniques de haute fiabilité.*

laissant un résidu légèrement conducteur. C'est un moyen encore plus élégant de nettoyer à fond les contacts. L'un des plus abordables est disponible en «kit» chez Heathkit.

Comme on le voit, un entretien

permanent est donc nécessaire et son prix de revient est ridiculement faible. Les statistiques montrent que, même pour les chaînes de très haut de gamme seuls 20% des utilisateurs ont des contacts «propres».

**Page non  
disponible**

# Conception et réalisation d'un amplificateur de grande puissance

*Jean Engelking*

## 4 - Réalisation

### CONSTRUCTION DE L'ENSEMBLE, TECHNOLOGIE EMPLOYEE.

- **Mécanique.**

L'aspect de notre amplificateur n'est pas sans rappeler étrangement certaines réalisations à tubes de plus de vingt ans antérieures (n° 2 page 34). Un châssis métallique horizontal supporte les composants de l'alimentation et, seule touche de modernisme, deux connecteurs dans lesquels s'enfichent les circuits imprimés. Les connec-

teurs d'entrée/sortie sont regroupés sur un même côté du châssis.

Chaque canal est localisé sur une plaquette de circuit imprimé (n° 3 page 42) qui supporte aussi les transistors de puissance et leurs radiateurs; cette solution s'est avérée extrêmement pratique lors de la mise au point, car elle procure une accessibilité totale pour effectuer les modifications.

Un capotage largement ajouré ferme le tout et sert de fixation au ventilateur (n° 1 page 46)

- **Refroidissement**

Pour obtenir la valeur de résis-

tance thermique requise nous avons préféré, pour des raisons d'encombrement, utiliser des radiateurs de petite taille placés dans le flux d'un ventilateur hélicoïde de 145 mm de diamètre au venturi, le régime de ce ventilateur est suffisamment bas pour produire un niveau de bruit acceptable (30 dB (A) à 1 m).

- **Le circuit imprimé**

Il reflète fidèlement le schéma de principe et est donc symétrique dans sa plus grande partie. Au niveau du fichier, toutes les connexions sont assurées par au moins

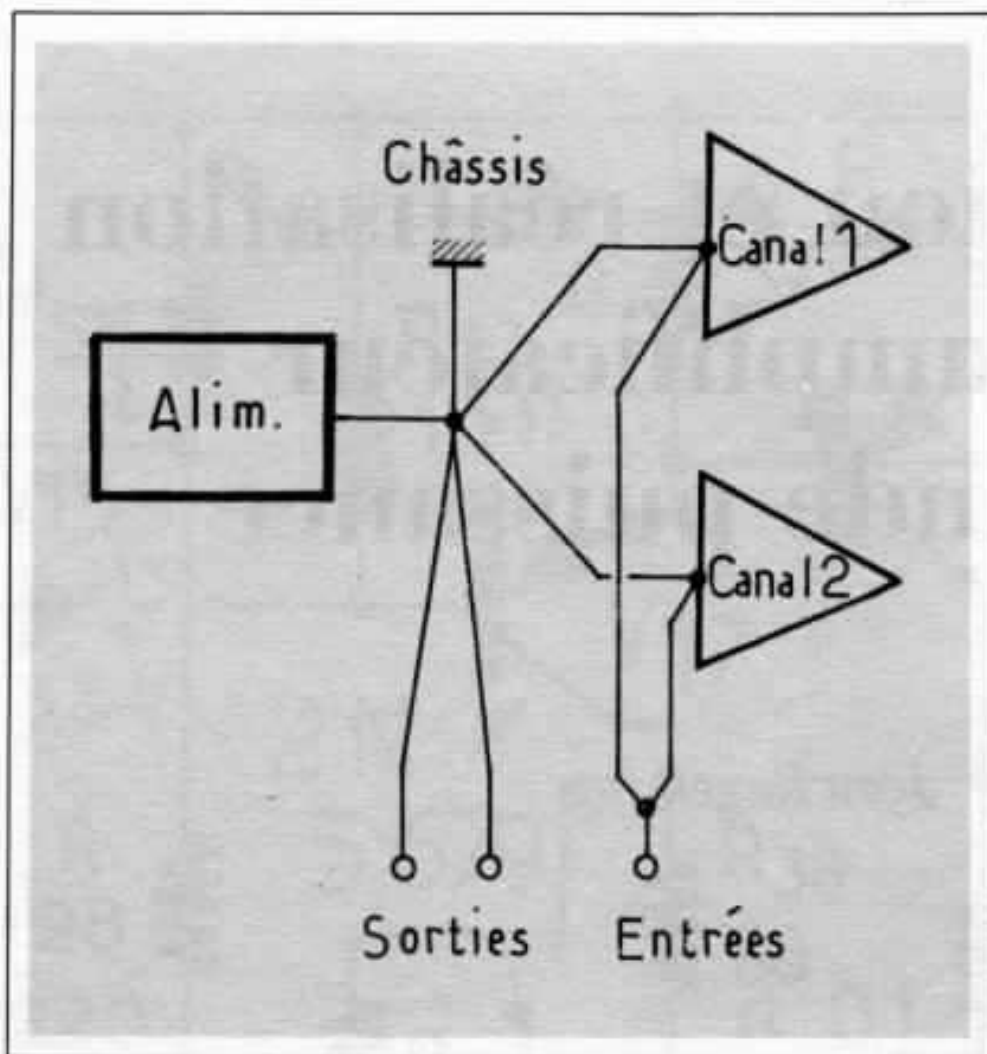


Fig. 42 - câblage des masses du châssis

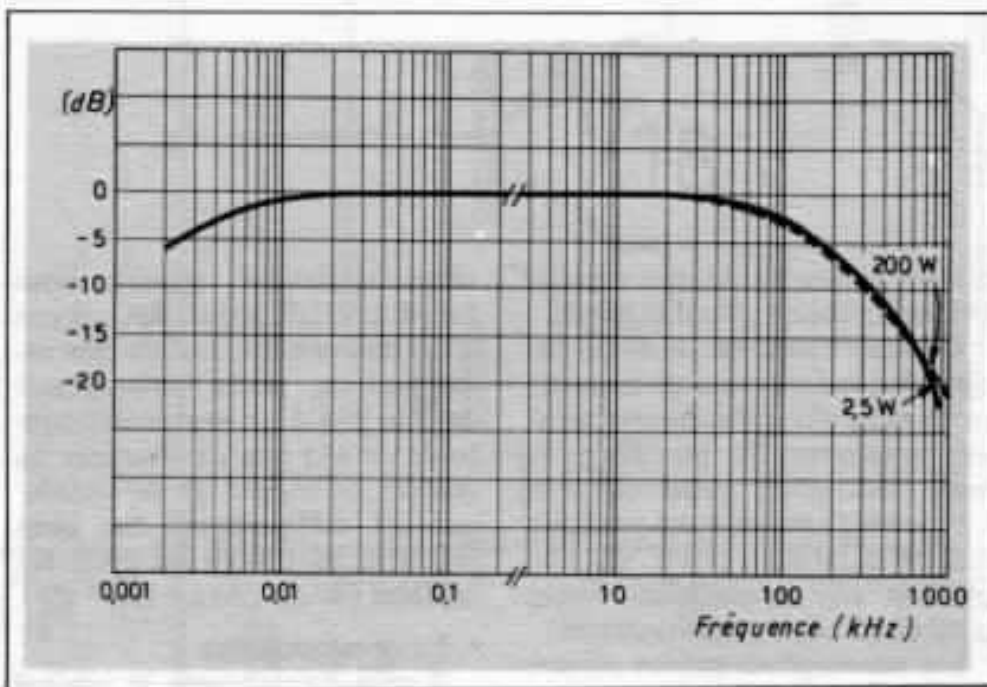


Fig. 43 - Réponses en fréquence (voir tableau II).

deux broches en parallèle, afin d'assurer une résistance de contact minimale (celle-ci est inférieure à  $1\text{ m}\Omega$  pour la sortie de puissance par exemple). L'étage d'entrée, assez sensible à la température, est éloigné de tous les composants qui dissipent de la chaleur. Les pistes sont larges et directes pour minimiser les inductances de raccordement.

#### • Les composants

Le tableau IV donne la nomenclature de l'amplificateur. Bien que la tolérance indiquée pour toutes les résistances soit de  $\pm 2\%$ , l'utilisation des composants à seulement  $\pm 5\%$  ne devrait pas poser de problèmes, sauf peut-être au niveau du couple  $R_{12}-V_6$  : il conviendrait alors d'ajuster  $R_{12}$  pour avoir, au repos sous 215 V, la même tension sur les collecteurs de  $V_4$  et  $V_7$ .

Le Tableau III résume les composants principaux de l'alimentation, commune aux deux canaux.

#### • Le câblage des masses du châssis (fig. 42)

On sait que la méthode de raccordement des masses peut modifier considérablement la stabilité d'un amplificateur. Il faut que les conducteurs véhiculant de forts courants soient distincts de ceux qui définissent les tensions d'entrée.

En pratique, du fait de l'utilisation d'un connecteur normalisé à 5 broches, on sera obligé de réunir les masses des deux canaux sur la broche 3 de ce connecteur. Ce qui, l'alimentation étant commune, interdit de réaliser un raccordement « en étoile ». Mais ceci ne pose pas de problèmes en raison de la symétrie des deux canaux.

### MESURES FINALES, VERIFICATION DU CAHIER DES CHARGES

Nous avons regroupé sur le tableau III ces différentes valeurs. Sauf indication contraire le sec-

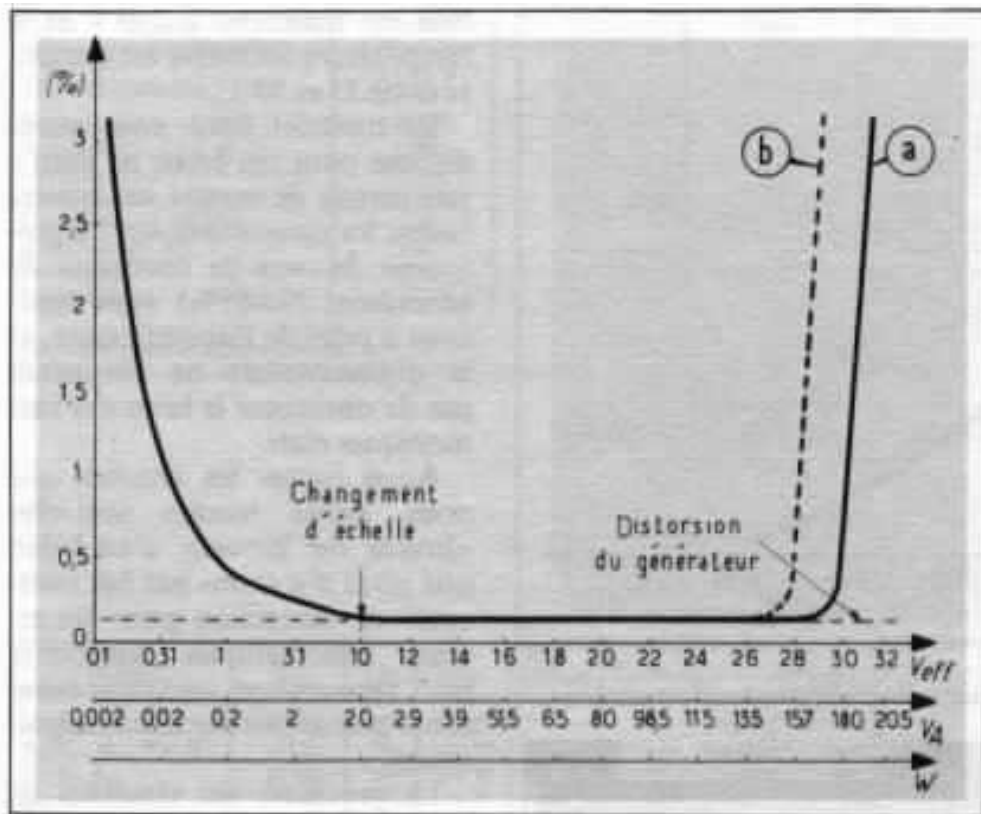


Fig. 44 - Distorsion harmonique globale avec l'amplitude (voir tab. II).

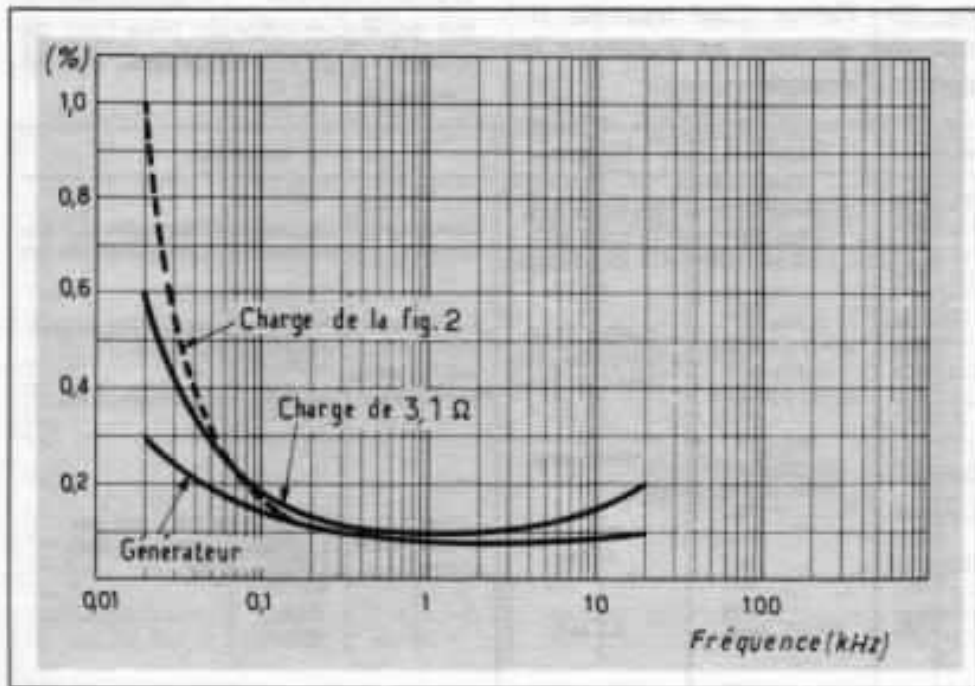


Fig. 45 - Distorsion harmonique globale avec la fréquence (voir tab. II).

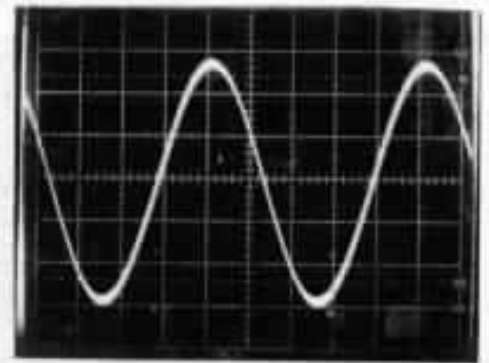


Fig. 44 bis - Signal de sortie à 100 mV eff. sur 3,1 Ω à 20 kHz (3,2 mW) noter l'absence de distorsion de raccordement.

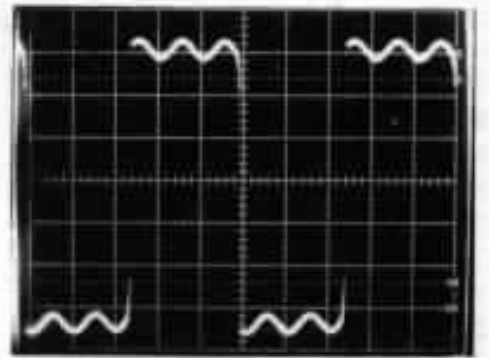


Fig. 46 - Restitution du signal susceptible de mettre en évidence la distorsion transitoire d'intermodulation.

Echelles : 10 V/carreau; 50 μs/carreau.

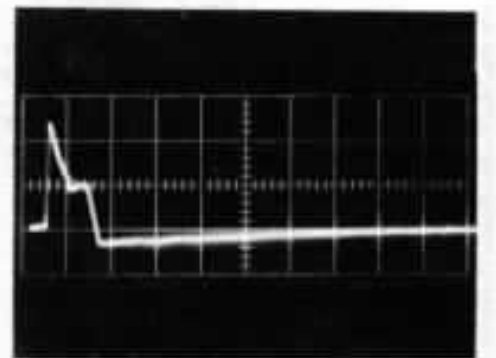


Fig. 47 - Impulsion parasite de mise sous tension.

Echelles : 2 V/carreau; 10 ms/carreau

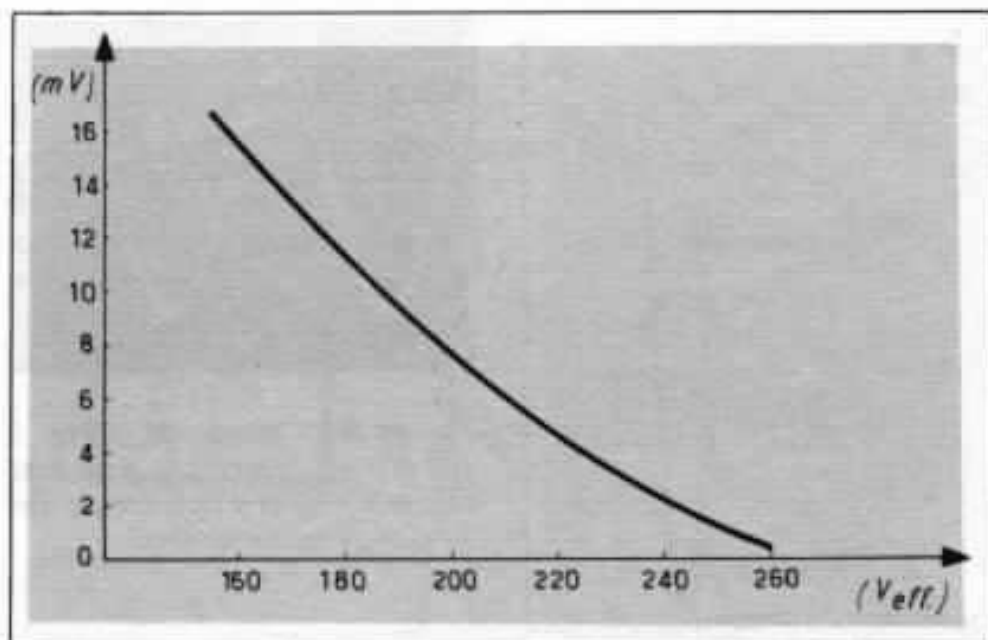


Fig. 48 - Décalage du niveau continu de sortie avec la tension secteur.

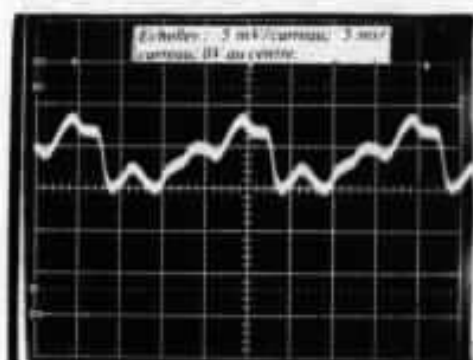


Fig. 49 - Forme du bruit en sortie

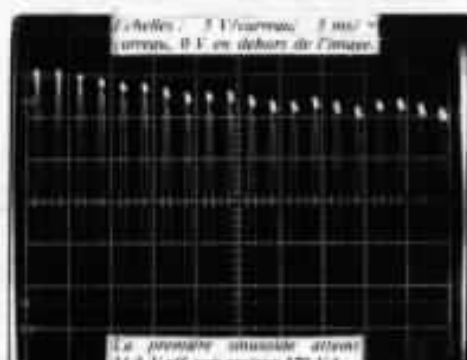


Fig. 50 - Début d'un train de sinusoïdes mettant en évidence la réserve d'énergie.

teur est maintenu à 230 V et la température ambiante est comprise entre 25 et 30°C.

Le matériel dont nous avons disposé pour ces essais ne nous a pas permis de mettre en lumière toutes les caractéristiques du prototype, le taux de distorsion du générateur (0,085%) était supérieur à celui de l'amplificateur, et le distorsiomètre ne permettait pas de distinguer le bruit des harmoniques réels.

Aussi toutes les courbes que nous avons tracées sont-elles «brutes de lecture» c'est-à-dire que nous n'y avons pas fait intervenir de correction pour les erreurs systématiques introduites par l'appareillage, ceci pour éviter toute polémique sur leur interprétation.

La précision des résultats, en tous cas, est suffisante pour distinguer les points sur lesquels le cahier des charges initial n'a pas été tenu : distorsion à très basse fréquence et réserve d'énergie. Ces deux défauts ont d'ailleurs même origine : tension de sortie insuffisante au secondaire du transformateur d'alimentation, un ou deux volts de plus (par demi-enroulement) auraient été nécessaires.

Nature de l'essai	Charge	Fréquence	Amplitude	Fig.	Val. spéc.	Val. mes.	Remarques
Réponse en fréquence	Fig. 2	f	4 Vc.à.c	43a	20 Hz-20 kHz ± 0,5 dB - 3 dB à 40 kHz	16 Hz-30 kHz ± 0,5 dB - 3 dB à 100 kHz	Courbes a et b confondues et marquées «2,5 W» Courbes c et d confondues et marquées «200 W»
	2,9 Ω	f	4 Vc.à.c	43b			
	Fig. 2	f	70 Vc.à.c	43c			
	2,9 Ω	f	70 Vc.à.c	43d			
Distorsion harmonique globale	Fig. 2	800 Hz	f	44a	0,3% de 40 Hz à 10 kHz 0,6% de 20 Hz à 20 kHz	0,4% à 40 Hz 0,2% à 20 kHz 0,09% à 1 kHz	La remontée aux faibles signaux est due au bruit et non à une distorsion de croisement : voir fig. 44 bis. Spécification non tenue en dessous de 50 Hz.
	3,2 Ω	800 Hz	f	44b			
	Fig. 2	f	70 Vc.à.c	45a			
	3,1 Ω	f	70 Vc.à.c	45b			
Distorsion transitoire d'intermodulation	Fig. 2	4 kHz + 20 kHz	70 Vc.à.c 1 V eff.	46	Pas de déformation	Satisfaisant	
Transitoire de mise sous tension	Fig. 2	—	0	47		4,4 V crête 10 ms	La pente de retour à zéro est due à une non symétrie totale du montage (dispersion dans les tolérances des composants).
Décalage de la tension de sortie	Fig. 2	—	0	48	10 mV max.	5,5 mV	
Gain	Fig. 2	1 kHz	8 Vc.à.c	—	29 ± 0,5 dB	28,95 dB	
Bruit	Fig. 2	—	—	49	1 mV (A)	0,5 mV (A)	
Impédance d'entrée	Fig. 2	1 kHz	8 Vc.à.c	—	200 Ω min.	1,17 kΩ	
Réserve d'énergie	Fig. 2	400 Hz	—	50	29,2 V - 50 ms	20 ms	Spécification non tenue.

\* La figure 2 a été publiée dans le n° 1 page 48

Tableau II



Repères	Val.	Tol.	Puiss.	Tension	Technologie ou remarques	Fournisseur
Transformateur (1)	2 x 35 V 2 x 40 V	—	500 VA	—	Eviter de saturer les tôles pour limiter le rayonnement	—
Redresseurs « + / - 55 V »	MR802	—	—	—	—	Motorola
Redresseurs « + / - 45 V »	15R2	—	—	—	—	Sesco
Condensateurs « + / - 55 V »	1,8 mF	-10, + 50%	—	80 V	—	—
Condensateurs « + / - 45 V »	22 mF	-10, + 50%	—	63 V	Modèle à « soupape »	Mullard/Philips
Condensateurs « H.F. »	1 µF	20%	—	63 V	Céramique type II	U.S.C.C./R.T.F.
Relais secteur	5 A	—	—	220 V	—	A.C.R.M.
Thermostat	56°C	± 2,5°C	6,3 A/250 V	—	Modèle R20 (genre T066)	Heito/Souriau
Ventilateur	—	—	—	220 V	Modèle 120 VR 02	Etri

(1) Voir le chapitre « Mesures finales »

Tableau III  
Composants de l'alimentation

## CONCLUSIONS

Nous espérons avoir convaincu le lecteur que la réalisation d'amplificateurs de grande puissance fonctionnant en toute sécurité ne relève pas de la magie ni de savantes recettes de cuisine. Bien au contraire, il s'agit d'un travail méthodique, où la connaissance des conditions de fonctionnement et de toutes les caractéristiques des semi-conducteurs susceptibles d'être utilisés est primordiale.

De plus l'étude préalable de la littérature technique permet d'éviter bien des écueils ou d'affirmer, comme on l'entend parfois, que les réalisations à semi-conducteurs bipolaires sont, par nature, plus mauvaises que leurs homologues à tubes : c'est là généraliser hâtivement les défauts (réels) d'un grand nombre d'appareils et mettre sur le dos d'une technologie des problèmes qui sont du domaine de la conception des circuits.

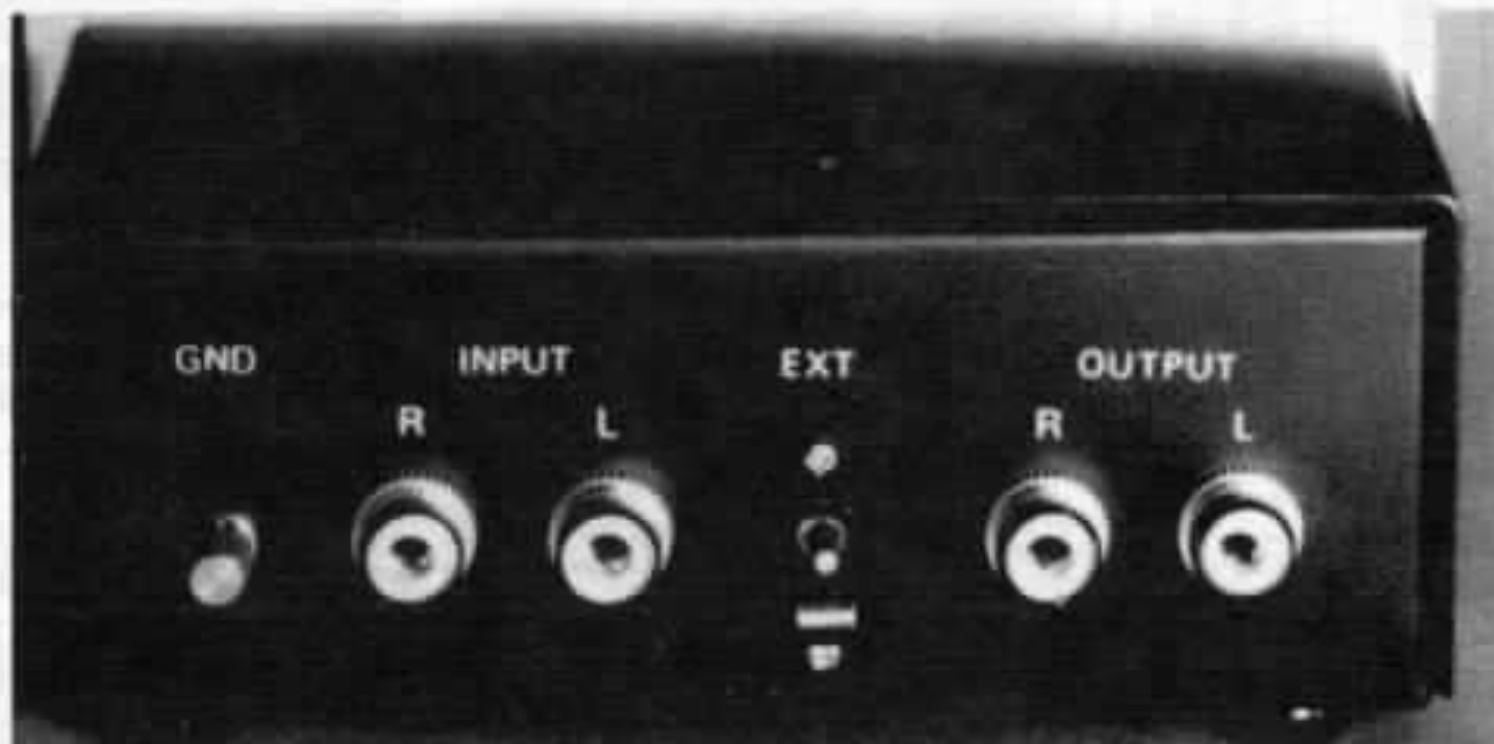
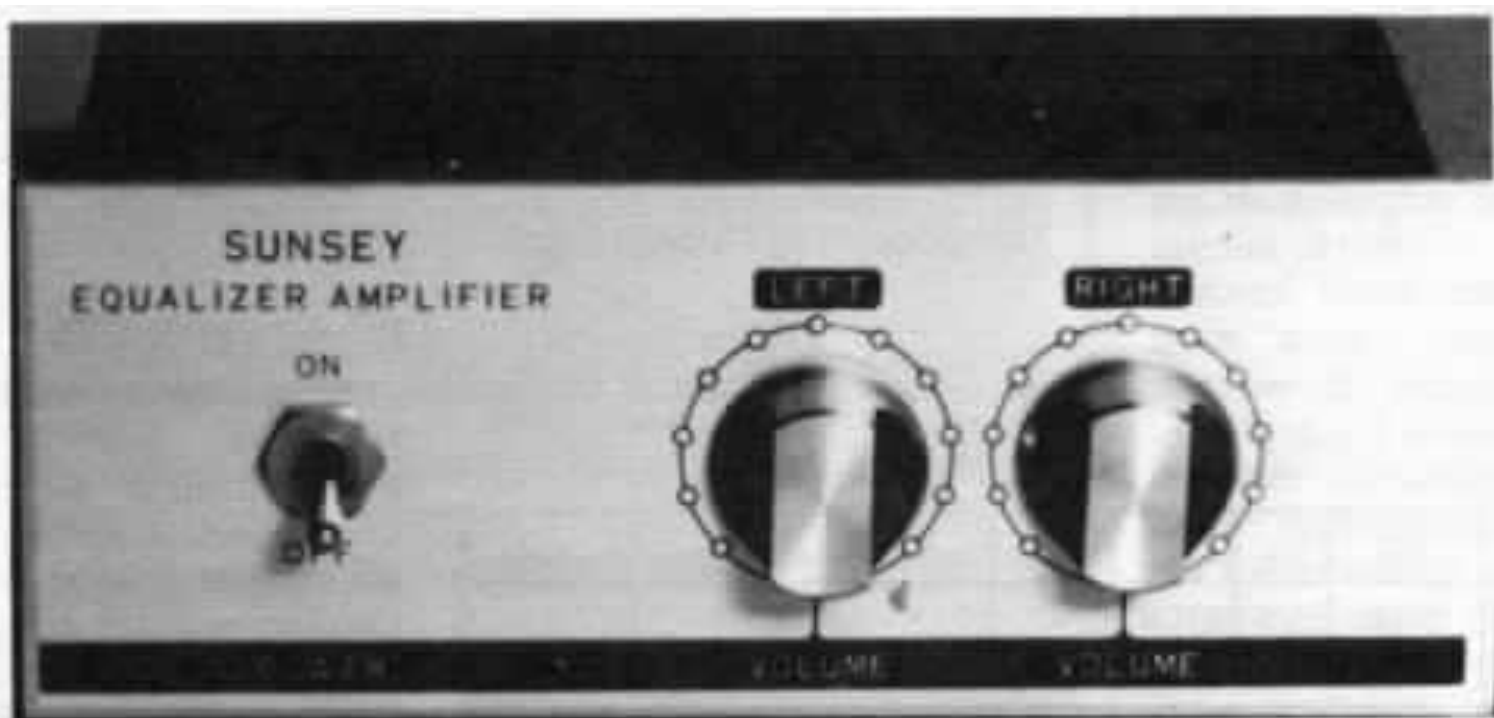
Enfin nous souhaitons, comme bien d'autres [35], que l'usage de la puissance en Watts pour exprimer les performances d'un amplificateur audio fréquence soit progressivement abandonné au profit de celui des Volts : c'est bien cela qui compte pour l'utilisateur, puisque de plus en plus les constructeurs de haut-parleurs annoncent, en volts, la sensibilité de leurs modèles.

[35] Bowsher, J.M. A new way of specifying amplifier outputs - J.A.E.S. Volume 23, N° 1 January/february 1975 p. 42 & 44.

Repères	Val.	Tol.	Puiss.	Tension	Technologie ou remarques	Fournisseur
R <sub>11</sub> , R <sub>20</sub> , R <sub>21</sub> , R <sub>22</sub>	270 Ω	2%	1/4 W	—	Couche	—
R <sub>23</sub> , R <sub>24</sub> , R <sub>25</sub> , R <sub>26</sub> , R <sub>27</sub> , R <sub>28</sub>	1 kΩ	2%	1/4 W	—	Couche	—
R <sub>29</sub> , R <sub>30</sub> , R <sub>31</sub>	10 kΩ	2%	1/4 W	—	Couche	—
R <sub>32</sub> , R <sub>33</sub>	4,7 kΩ	2%	1/4 W	—	Couche	—
R <sub>34</sub> , R <sub>35</sub>	15 Ω	2%	1/4 W	—	Couche	—
R <sub>36</sub>	20 Ω	10%	1/2 W	—	Multitours bobiné	Bourns
R <sub>37</sub> , R <sub>38</sub>	47 Ω	2%	1/4 W	—	Couche	—
R <sub>39</sub> , R <sub>40</sub>	4,7 k	2%	1 W	—	Couche	—
R <sub>41</sub>	200 Ω	2%	1/4 W	—	Couche	—
R <sub>42</sub>	200 Ω	10%	1/2 W	—	Multitours bobiné	Bourns
R <sub>43</sub> , R <sub>44</sub>	3,9 kΩ	2%	1 W	—	Couche	—
R <sub>45</sub> , R <sub>46</sub>	30 Ω	2%	1/4 W	—	Couche	—
R <sub>47</sub> , R <sub>48</sub>	56 Ω	2%	1 W	—	Couche	—
R <sub>49</sub> , R <sub>50</sub>	220 Ω	5%	5 W	—	Bobinée	Sfernice
R <sub>51</sub> , R <sub>52</sub>	270 Ω	5%	5 W	—	Bobinée	Sfernice
R <sub>53</sub> , R <sub>54</sub> , R <sub>55</sub> , R <sub>56</sub>	68 Ω	2%	1/4 W	—	Couche	—
R <sub>57</sub> , R <sub>58</sub> , R <sub>59</sub> , R <sub>60</sub>	0,1 Ω	10%	2 W	—	Bobinée	Sfernice
C <sub>1</sub>	22 nF	20%	—	50 V	Céramique type II	L.C.C.
C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> , C <sub>5</sub>	150 µF	20%	—	16 V	Tantale solide	L.T.T.
C <sub>6</sub>	3,3 nF	10%	—	50 V	Céramique type II	L.C.C.
C <sub>7</sub> , C <sub>8</sub> , C <sub>9</sub>	3,3 µF	20%	—	16 V	Tantale solide	L.T.T.
C <sub>10</sub> , C <sub>11</sub>	1 µF	20%	—	35 V	Tantale solide	L.T.T.
C <sub>12</sub> , C <sub>13</sub>	1 nF	20%	—	50 V	Céramique type II	L.C.C.
C <sub>14</sub>	3,9 nF	20%	—	50 V	Céramique type II	L.C.C.
C <sub>15</sub>	39 nF	20%	—	50 V	Céramique type II	L.C.C.
V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub>	MD8003	—	—	—	Genre T05	Motorola
V <sub>3</sub>	1N5312	—	—	—	D07	Motorola
V <sub>4</sub> , V <sub>5</sub> , V <sub>6</sub> , V <sub>7</sub>	MM4001	—	—	—	T05	Motorola
V <sub>8</sub> , V <sub>9</sub>	2N2905A	—	—	—	T05	—
V <sub>10</sub>	4,7 V	5%	300 mW	—	Zener	—
V <sub>11</sub>	2N4240 (1)	—	—	—	T066	R.C.A.
V <sub>12</sub>	2N2219A	—	—	—	T05	—
V <sub>13</sub> , V <sub>14</sub>	OA47	—	—	—	Peut être remplacé par diode Schottky	Philips
V <sub>15</sub>	MM3001	—	—	—	T05	Motorola
V <sub>16</sub> , V <sub>17</sub>	3,3 V	5%	300 mW	—	Zener	—
V <sub>18</sub> , V <sub>19</sub>	2N5679	—	—	—	T05	Motorola
V <sub>20</sub> , V <sub>21</sub>	2N5681	—	—	—	T05	Motorola
V <sub>22</sub> , V <sub>23</sub> , V <sub>24</sub> , V <sub>25</sub>	2N6029	—	—	—	T03	Motorola
V <sub>26</sub> , V <sub>27</sub> , V <sub>28</sub> , V <sub>29</sub>	2N5629	—	—	—	T03	Motorola

(1) Type non impératif  
Seul le boîtier T066 est important

Tableau IV  
Composants pour un canal



# Le préamplificateur Sunsey minimum

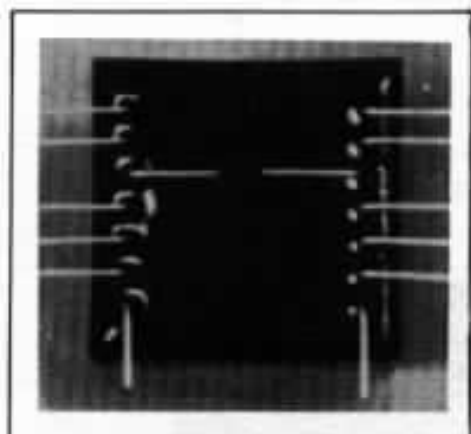
*Jean Hiraga*

*Même si souvent mal compris du public, ce qui explique parfois la faillite de maisons sérieuses, il existait et il existe encore, heureusement, quelques produits dont le rapport qualité/prix est extrêmement bon, voire exceptionnel.*

*En matière de préamplificateurs par exemple, on peut prendre l'exemple du Quad 22, du Dynaco PAS 3, qui étaient pour l'époque les rivaux de produits bien plus chers mais aux performances égales. Or, pour obtenir un rapport qualité/prix aussi intéressant, il faut bien sacrifier quelque chose. Si on sacrifie trop le bénéfice, c'est la faillite. Un autre moyen, le seul sans doute, est à la fois de simplifier le circuit, ce qui n'est pas... simple, sans sacrifier les performances techniques ou musicales. Il faut alors passer à une présentation peut-être moins luxueuse, une utilisation moins pratique. Le préamplificateur SUNSEY «Minimum» est sans doute le moins pratique de tous, mais peut-être pas de trop pour ceux qui comprennent l'effort fait dans ce sens.*

*En effet, il ne comporte pas de contrôle de balance, pas de filtre, pas de sélecteur d'entrée, et n'est destiné qu'à un seul usage : le disque. Mais il ne faut pas croire, que, pour le disque, il ne se défend pas bien. Au Japon, ceux qui se le procurent ne sont pas, vu son prix ridiculement faible (prix d'un phonolecteur de moyenne qualité), des clients à la bourse peu garnie. Ce sont, chose curieuse, ceux qui possèdent des maillons de haute classe et de prix au moins 20 à 30 fois plus élevé qui l'achètent sans hésiter.*

*Au début, lancé en 1975 et fabriqué en petite quantité, c'était déjà très bien pour le prix, mais il a subi depuis plusieurs modifications dont la dernière en a fait un appareil que l'on peut placer, malgré son utilisation limitée strictement au disque, en tête avec les 20 meilleurs produits existant actuellement.*

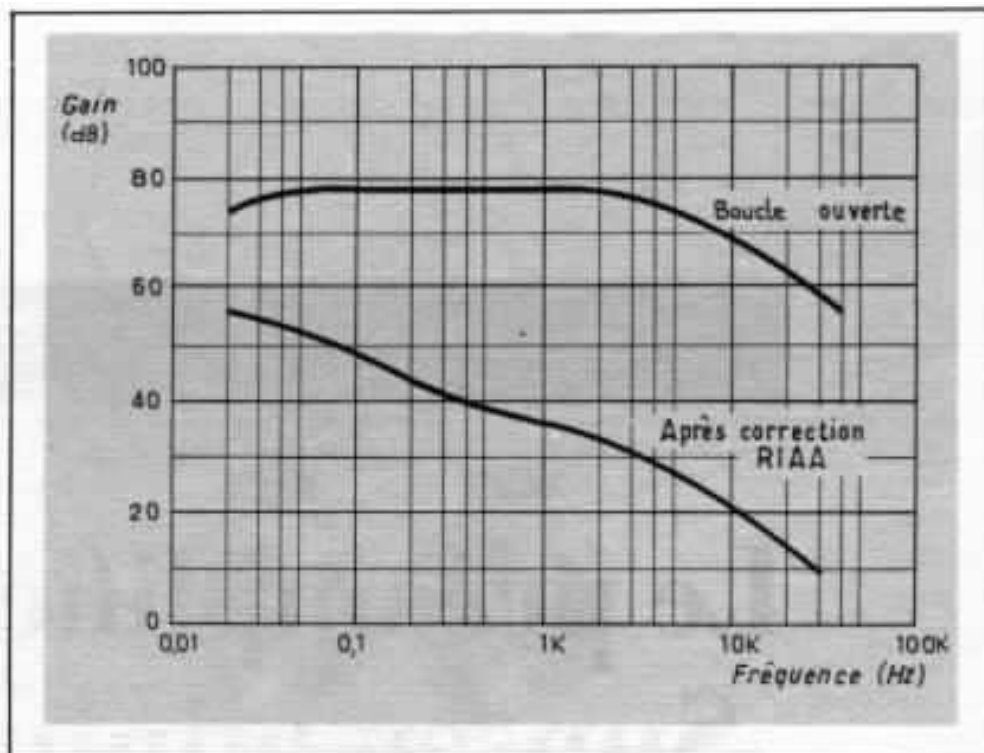


Circuit intégré U1.

faible courant, permet d'obtenir une figure de bruit très faible et digne des meilleurs appareils. Le courant ne dépasse pas, pour l'étage d'attaque  $100 \mu\text{A}$  et passe, au repos à  $8 \mu\text{A}$ . Dans le secteur grave la contre réaction est de 19 dB, pour obtenir, entre 20 et 1000 Hz, une courbe conforme à la norme R.I.A.A. Dans l'aigu, il faut remarquer comme sur la figure 1, que le circuit ouvert chute lui-même *fortement* à raison de quelques 6 dB par octave, chute *volontaire*, destinée à réduire le taux de contre réaction aux fréquences élevées. Cette technique est retrouvée sur quelques circuits à tubes utilisant une très forte résistance de charge (270 kohms à 470 kohms) qui ont pour effet d'augmenter considérablement le gain tout en faisant chuter l'aigu. Bien entendu, il est tenu compte de cette chute dans l'aigu de sorte que le calcul des constantes de temps de l'égaliseur actif RIAA n'est plus fait à partir d'une courbe de réponse *droite*.

Deux paires de 330 k/ 2400 pF et 33 k/ 6900 pF sont utilisées ici et donnent, malgré tout, une courbe de réponse bien conforme à la courbe RIAA, soit à  $\pm 0,5$  dB près.

L'entrée phono, la seule d'ailleurs, accepte sans saturation 115 mV à 1 kHz (220 mV sur le dernier modèle) ce qui est excel-



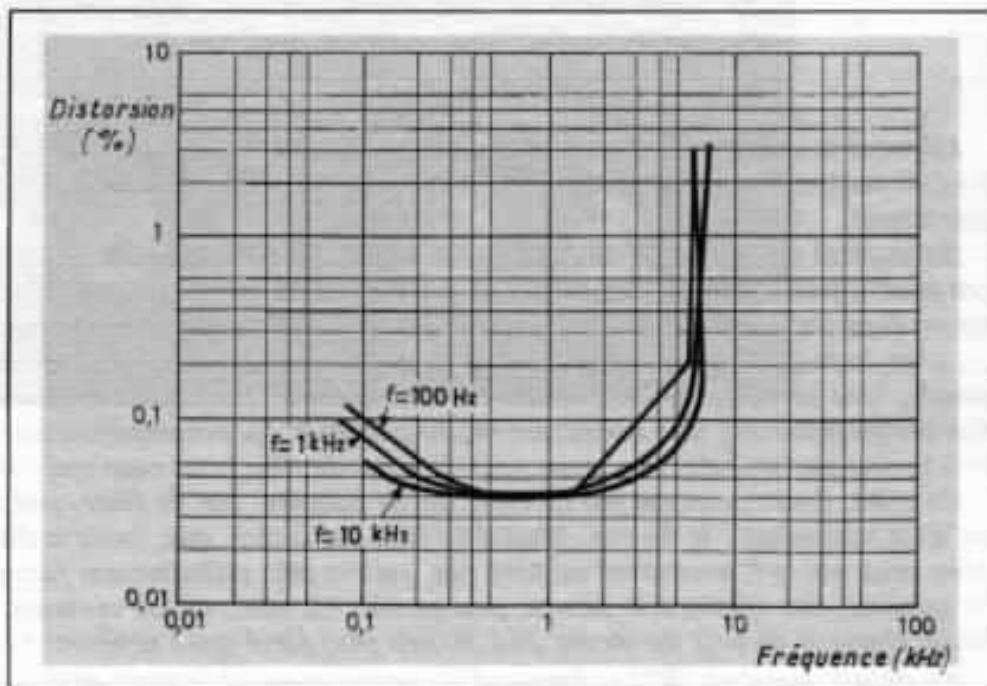
Gain avant et après correction RIAA.

lent. Mais ce n'est, bien sûr, pas aussi bien que le préamplificateur SRPP qui peut accepter 1,3 V sans broncher. Cette différence, est cependant à peine audible.

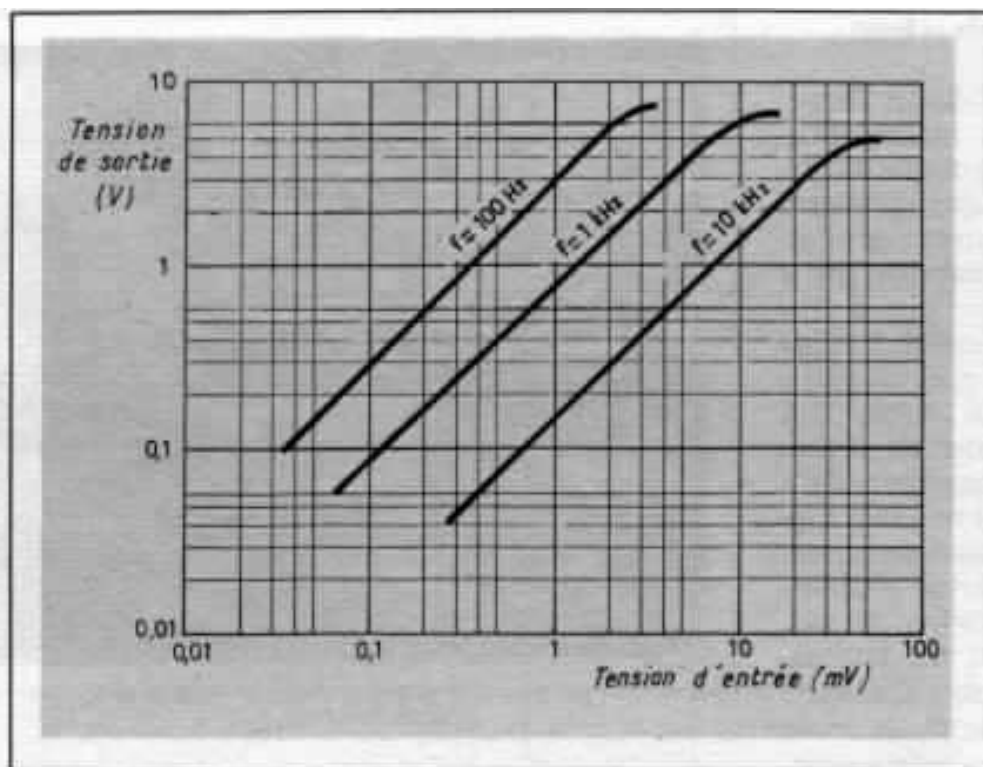
Le rapport signal/bruit, lui, est exceptionnellement bon, puisque atteint  $-110$  dB (recul de bruit)

avec entrée en court circuit et  $-96$  dB (cellule à bobine mobile et transformateur d'impédance) (mesure faite à 1 kHz). C'est donc un préamplificateur très silencieux.

La courbe de distorsion, fig. 2, montre que la tension maximum



Distorsion en fonction du niveau de sortie.



Tension de sortie en fonction de la tension d'entrée.

de sortie est de 6 volts (voir aussi fig. 3) ce qui est plus qu'il n'en faut. Remarquer, comme pour le cas du préamplificateur S.R.P.P. et aussi le Kanéda, que le taux de distorsion moyen à 10 kHz est inférieur à celui à 1 kHz et 100 Hz.

Ceci explique la pureté et transparence du son qui en résulte.

Le taux moyen se situe vers 0,05% ce qui est très honnête.

Il est, répétons-le, très difficile de concevoir un préamplificateur avec taux de distorsion diminuant lorsque la fréquence augmente. (voir préampli Kanéda, N° 3).

L'ensemble du circuit est détaillé sur la figure 4, où l'on voit l'alimentation se faisant par pile, (4 piles de 9 volts) et possibilité d'alimentation extérieure. Les composants sont sérieusement sélectionnés, en particulier les condensateurs, dont certains sont de type au tantale, bipolaires, avec mise en parallèle de condensateurs au mylar de haute qualité (Shizuki ED, 1  $\mu\text{F}$  50 V, améliorant la qualité subjective dans le secteur médium aigu. Les composants figurent sur le tableau

Noter aussi que les fils reliant les potentiomètres et les prises Cinch de sortie (à isolant stéatite H.F.) sont de marque Léonische (Allemagne).

La soudure des divers composants est faite à l'aide de la soudure Multicore LMP, contenant 2% d'argent.

Pour l'alimentation extérieure, quelques amateurs ont tenté, avec grand succès d'utiliser trois batteries de voitures de 12 V (la plupart achetées d'occasion à un prix dérisoire) sur lesquelles sont reliés en parallèle quelques condensateurs pour améliorer la courbe d'impédance aux fréquences élevées. Il en résulte un supplément de dynamique et de stabilité de l'image stéréophonique.

#### Ses performances sur disques

Là, il se débrouille très bien et étonne toujours, surtout à cause de ses dimensions si réduites.

Tel quel, il a été étudié longuement, en particulier son correcteur RIAA, pour donner subjectivement un son très proche du circuit S.R.P.P. qui est pourtant à tubes. Le S.R.P.P. est bien en-

tendu supérieur dans le grave, mais dans la bande bas médium-extrême aigu la différence est «minimum».

Nombreux sont ceux qui souhaitaient en plus un peu plus de gain, des entrées en plus, des sélecteurs d'entrée, tous invariablement apportant soit une perte de qualité (même légère), soit une augmentation du prix de revient.

Comme on le voit, le surnom «Minimum» signifie le minimum admissible pour écouter un disque, le minimum de qualité au minimum de prix, un minimum qui est pourtant supérieur à des appareils de prix 30 fois plus élevé. Pourtant, en le regardant de près (voir photo) il n'y a aucun secret : circuit imprimé absent, contacts électriquement parfaits (pas de sélecteurs ou inverseurs de monitoring), liaisons entre composants très courtes, composants de très haute qualité et en quantité réduite.

Vu son prix, son utilisation limitée au disque, il ne faut donc pas le comparer aux appareils de trop haute classe, même s'il est parfois supérieur. Mais il repré-

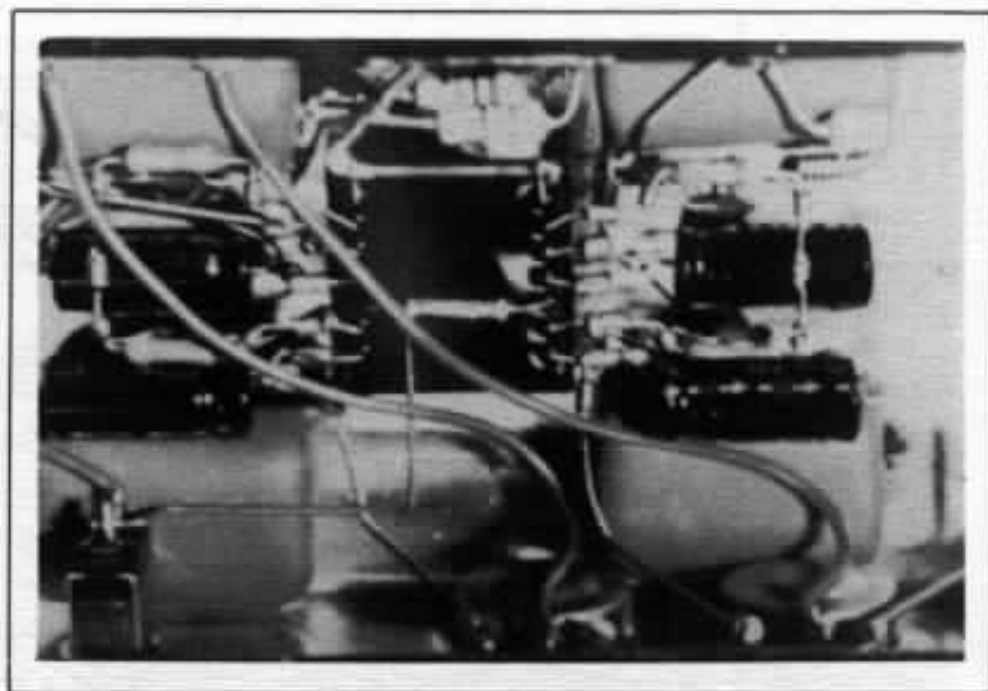
## Les circuits imprimés et leurs effets sur le son.

C'est en faisant l'étude, l'écoute comparative de préamplificateurs très évolués, puisque de réalisation Kanéda que plusieurs amateurs s'aperçurent de l'influence du circuit imprimé sur le son et sa qualité.

Pour le premier circuit Kanéda original, le circuit était en partie monté en «vrac» avec, par exemple, connexions au niveau des «gates» des transistors FET faites *en l'air* c'est à dire sans support matériel. Le montage sur circuit imprimé apportait toujours une légère détérioration du son, toutefois amenuisée par l'utilisation de verre époxy. Un autre fait : le dos du circuit, la partie imprimée, suivant sa constitution, son origine, la largeur des parties imprimées, jouait aussi sur la qualité : circuits étamés, non étamés, épaissis par une couche de soudure, renforcés par des fils de cuivre, argentés, dorés.

Mais une chose était sûre : il y avait dans ce phénomène apparaissant normalement à très haute fréquence des problèmes de qualité des conducteurs (voir article sur les câbles de la Nouvelle Revue du Son), de capacité parasite (très sensible sur les circuits avec transistors FET), de résistance d'isolement.

L'histoire du «Minimum» commença par pur hasard. Un «gamin» avait construit, par manque de fonds financiers, un préamplificateur ridiculement petit, monté entièrement «en vrac», avec résistances, condensateurs, transistors reliés sans support, sans l'aide de cosses relais ou circuit imprimé. Le dos de gros composants était collé au châssis, ce qui donnait à l'ensemble une rigidité suffisante. Bien sûr ce n'était pas très présentable, mais cela fonctionnait admirablement bien et surtout bien mieux que le même circuit monté, lui, sur carte imprimée. Ceci pourrait sembler bizarre, mais on sait maintenant



*Un montage sans circuit imprimé.*

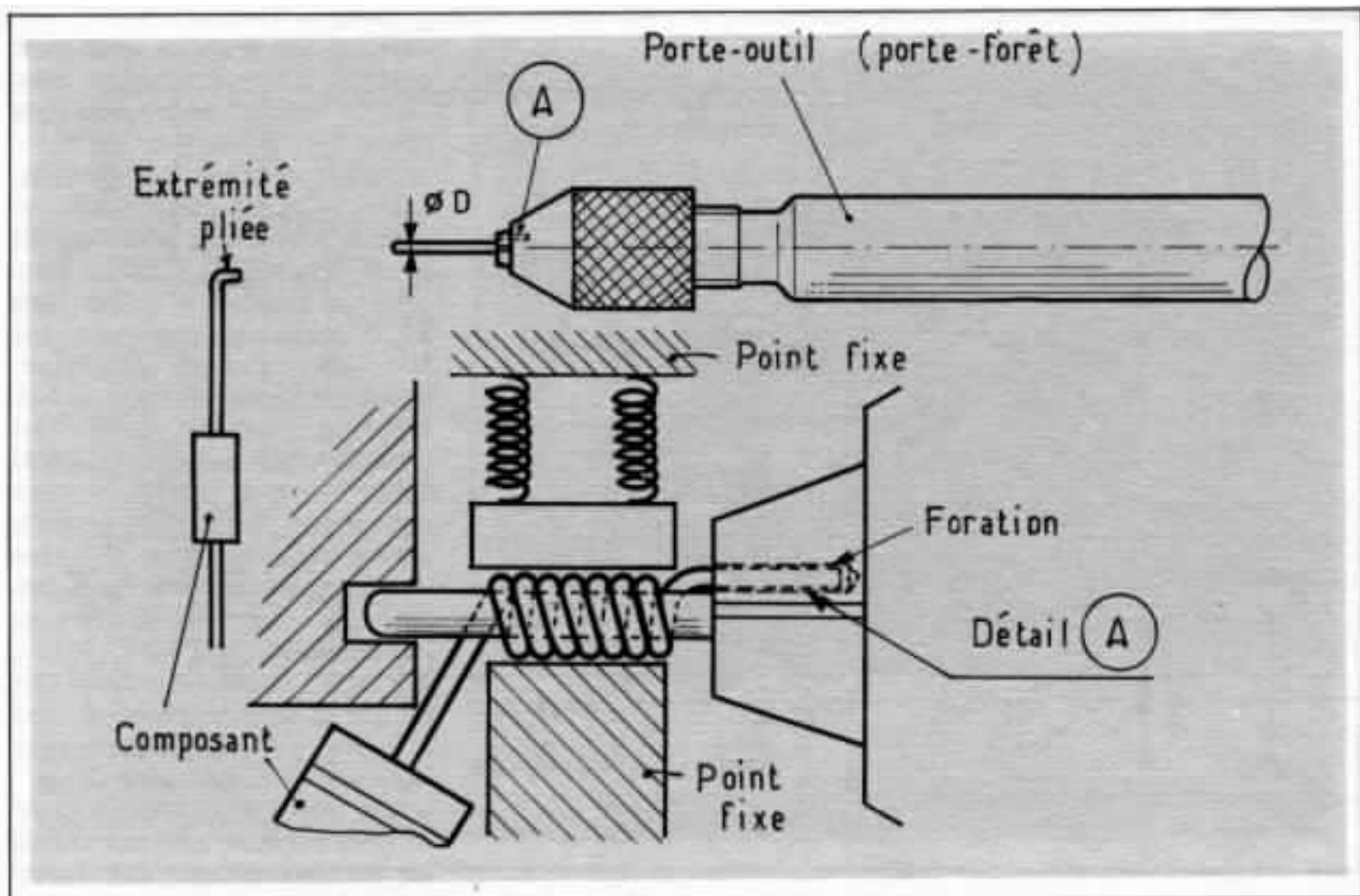
qu'un petit fil reliant par exemple le phonolecteur au porte cellule peut modifier le son, que plusieurs condensateurs, pourtant techniquement sans reproche peuvent apporter chacun une sonorité particulière.

Pour un circuit imprimé normal, pensons que le circuit n'est qu'une fine bande de largeur 2 à 3 mm, parfois 1 mm seulement dont l'épaisseur n'est que de 1/10 de mm.

C'est ainsi qu'on peut se rendre compte qu'un point de masse peut devenir difficile à chercher en vue d'un bruit de fond *minimum*, malgré une résistance de surface du conducteur (circuit imprimé) proche de zéro. Mais proche de zéro ne veut pas dire zéro car un gros fil de cuivre arrange souvent les choses, surtout dans les circuits et montages à tubes. Ce qu'il fallait pour le résultat souhaité était pourtant simple : liaisons courtes, capacités parasites faibles, résistance d'isolement entre les composants grande, résistance de contact entre ces

composants aussi faible que possible. Ainsi naissait le premier préamplificateur Sunsey «Minimum». C'était dans son genre le premier utilisant la technique des contacts sans support mécanique, sans circuit imprimé, sans liaisons inter-composants faites par cosses relais. Une autre raison existait : la taille ridiculement petite de l'appareil.

Modifié plusieurs fois, la dernière réalisation comporte des liaisons faites par «wrapping», qui donne à la fois une meilleure rigidité mécanique et une plus faible résistance de contact. Mais, fabriqué à la main, il ne s'agit pas de «wrapping», épissure faite à la machine, comme pour les récents appareils Japonais et Américains, mais que tout amateur pourra faire lui-même chez lui, avec le minimum de frais. (Voir dessins). Cette méthode d'épissure, proposée par l'auteur, très simple et efficace aidera les amateurs désirant faire des connexions «en l'air» de bonne présentation et électriquement parfaites.



#### Méthode utilisée pour le « Wrapping » à la main

On utilise un petit porte-foret de bijoutier, dont la partie A, le bec de serrage est percé tout près du centre. Le perçage ne pose pas de difficultés si un étau est utilisé et si le perçage se fait lentement. Le trou, de profondeur 4 à 5 mm, est de diamètre 1 mm. On serre ensuite dans le porte foret, soit un foret mais du côté lisse (inverse) soit une tige très dure de diamètre 0,9 mm (diamètre le plus compatible avec la taille des composants à relier). Avant l'opération de « wrapping », on plie l'extrémité des fils des divers composants résistances, condensateurs, etc. (2 à 3 mm à 90° suffisent). Ceci permet d'accrocher le fil qui se pliera et s'entourera autour de la tige. Il est préférable d'utiliser un support de poids élevé, ce qui donne un point d'appui bien ferme et permet, par utilisation de presse (ou autre artifice mécanique au même effet) de serrer le fil autour de la tige sans avoir à tirer sur le fil de sortie du composant. Ainsi prêt au montage, il est possible soit de le laisser dans la position originale 90°, soit de le plier et d'en faire un fil droit avec extrémité en « tire bouchon ». L'avantage est que, même avant soudure les composants tiennent peu « eux-mêmes », ce qui rend le montage simple. Il faut aussi remarquer que ce mode d'épissure demande moins de soudure que normalement et que le démontage est également facile.

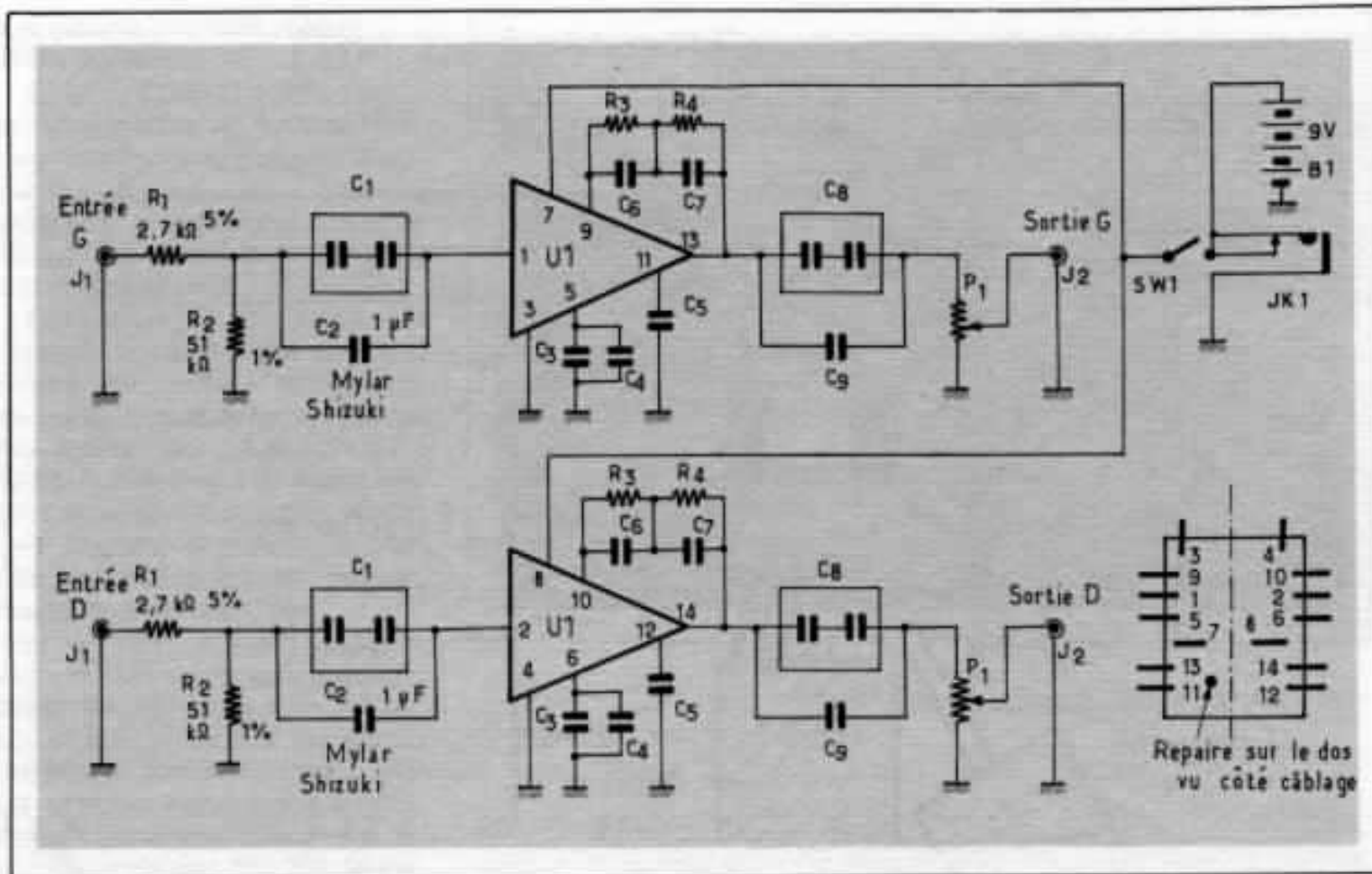
#### Le circuit

Tout d'abord, pour des questions de prix de revient, de dimensions, de performances, le gain total choisi est de 36 dB, c'est-à-dire, le « minimum » permissible. Il ne peut en effet convenir qu'aux amplificateurs donnant leur puissance maximum pour une tension d'entrée de l'ordre de

0,4 à 0,6 V. Ces amplificateurs ne sont pas trop rares, heureusement. Le circuit est de type hybride, empaqueté dans un boîtier hermétique « à la Audio Research » ou « à la Mark Levinson ». Ce circuit intégré, de forme carré, dimensions 23 x 23 x 13 mm contient le circuit amplificateur pour les deux voies.

Circuit « maison », il ne pourra malheureusement être décrit. Que les lecteurs ne soient pas trop jaloux ou mécontents. Ce circuit intégré, lui, se vend séparément et son prix est celui de quelques paquets de cigarettes.

Le gain total, sans contre réaction, est de 75 dB. Le premier étage utilisant un circuit à très



*Schéma et composants.*

- R1 : 2,7 k $\Omega$  5%, Film métallique
- R2 : 51 k $\Omega$  Film métallique
- C1, C8 : Marcon NP2R2, Polycarbonate bipolaire 2,2  $\mu$ F 35 V
- C5, C3 : 22  $\mu$ F 50 V, Nippon Chemical
- C4 : 0,005  $\mu$ F 500 V, céramique
- C2, C9 : 1  $\mu$ F 10% 50 V, Shizuki Mylar
- P1 : 50 k $\Omega$  Log. Alps.
- J1, J2 : prises Cinch isolant stéatite H.F.
- SW1 : interrupteur 125 V 6 A miniature TOCOS
- R3 : 330 k $\Omega$  2% couche carbone
- R4 : 33 k $\Omega$  2%, couche carbone
- C6 : 6900 pF mylar métallisé miniature 2%
- C7 : 2,200 pF polystyrol 2% 125 V. Fujitsu
- U1 : circuit hybride intégré Sunsey

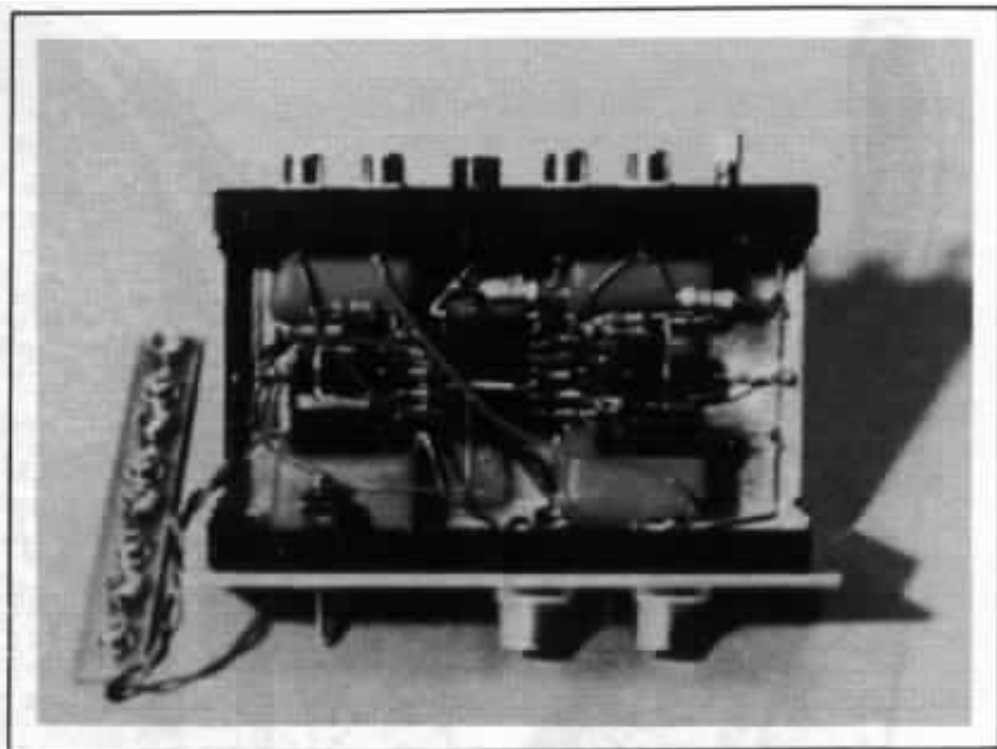


sente sans aucun doute le maximum qu'il est possible de faire pour une somme donnée.

Un autre avantage est justement ses dimensions réduites et son alimentation par piles, ce qui permet de le placer sans aucune crainte près d'un transformateur pour cellule à bobines mobiles, sans risques d'inductions et de ronflement. Un autre point : Le dernier étage du circuit intégré, à très large bande passante (450 kHz pratiquement linéaire) avait le défaut, avec un câble d'entrée mal blindé (tresse peu serrée) de capter les émissions radio. A cet effet une résistance série a été insérée dans le circuit d'entrée ( $R_1$ ) pour éviter ce défaut, d'ailleurs courant sur les très bons appareils (à cause de la bande passante très large).

La consommation de l'ensemble ne dépasse pas 0,8 mA, ce qui permet aux piles plusieurs mois de travail. Les piles reposent sur un capot semi transparent justement pour mettre en valeur le montage appelé «Support free, Print Board Less circuit».

Le *Minimum* est fabriqué par la Sunsey Co.Ltd, 4-1-16 Hachiman-Dori, Fukiai-Ku, 651 KOBE-CITY, Japon. On peut se le procurer, soit monté, en deux versions, soit en kit. Le circuit intégré hybride est disponible séparément ainsi que le châssis ou tout autre composant.



*Vue de l'intérieur monté.*



*Composants pré-pliés.*

**Page non  
disponible**

# L'approche du subjectif

G. Altieri

## LA LOCALISATION SPATIALE

*Le canal acoustique de communication\* permet de transmettre, avec une grande efficacité, des informations concernant un certain émetteur et qui intéressent un (ou plusieurs) récepteur du message. L'information véhiculée par la voie des sons fournit une multiplicité de renseignements au sujet de la source sonore. C'est ainsi que le traitement adéquat des signaux permet l'interprétation du message en même temps que la restitution totale ou partielle des caractéristiques physiques de l'émetteur. Prenons des exemples : lorsque M. Hiraga s'adresse à moi pour me souhaiter «une bonne journée» je reçois son message de courtoisie, mais ce seul signal acoustique me permet également d'en déduire des renseignements sur son état de santé, et son état psychologique... et naturellement me confirmer qu'il est d'origine japonaise. Mais, en plongeant plus profondément encore dans notre univers sonore, je constate qu'il est facile de savoir aussi, si mon interlocuteur se trouve placé à ma droite, à ma gauche, devant ou derrière moi. C'est-à-dire que le signal acoustique me montre la position spatiale de la source, et ceci indépendamment du contenu intrinsèque du message transmis.*

*Dans l'audition musicale, la localisation de la source sonore joue un rôle de grande importance dans le processus d'intégration perceptive du message acoustique et dans l'évaluation subjective de son résultat global. Il est donc nécessaire, lors de la diffusion électroacoustique de la musique, de reproduire les conditions de distribution spatiale des instruments et des voix, si l'on desire recréer les conditions d'écoute qui caractérisent la salle de concert. Notre préoccupation a toujours été la recherche des phénomènes qui sont à l'origine des mécanismes biophysiques qui déterminent nos aptitudes en tant que récepteurs acoustiques. C'est la voie choisie pour partir à la découverte du pont, encore mystérieux que la nature a tendu entre les stimulus physiques et la constitution d'une image perceptive. Dans cette ligne de travail étudions, maintenant, les principes de base de la localisation spatiale.*

Il est évident que la nature a bien réalisé notre système d'audition binaurculaire nous permettant de perfectionner sensiblement les performances de la réception et traitement des sons par rapport à la voie monoaurale. Deux propriétés fondamentales dérivent de notre constitution binaurculaire :

- le sens de la localisation
- l'amélioration du pouvoir de discrimination des signaux en présence d'un bruit de fond considérable (Fig. 1).

Cet avantage que confère la possession d'un double système de réception, représente un besoin vital chez certains animaux dont la localisation précise des éléments appartenant à l'environnement se fait grâce aux signaux acoustiques. L'optimisation des capacités de localisation auditive apparaît chez les animaux qui possèdent des systèmes d'émission de sons spéciaux et également des systèmes de réception, ainsi que le traitement des échos dérivés des signaux originaux dûs à la présence d'un élément plus ou moins réfléchissant dans son chemin acoustique (Sonar).

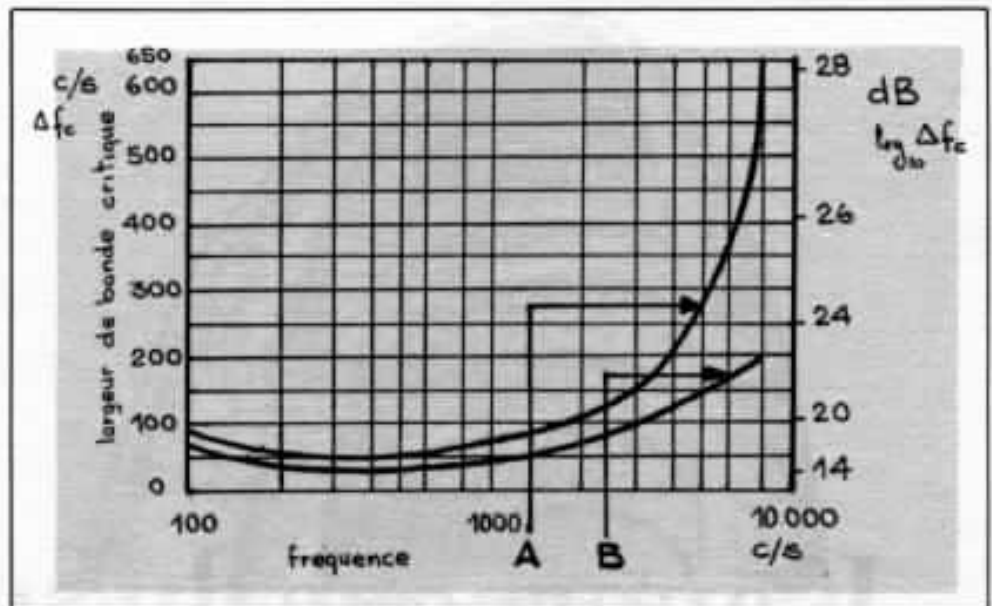


Fig. 1 - Largeur de bande critique pour l'audition déterminée par la capacité, la reconnaissance des tons purs en présence du bruit blanc.

- A. audition monomale
- B. audition binomale

#### Un peu d'histoire

Le premier chercheur motivé par les problèmes qui touchent la localisation acoustique a été l'Italien Giovanni Battista Venturi qui a vécu entre 1746 et 1822. Ses expériences consistent à placer un individu aux yeux cachés au mi-

du son lorsque celui-ci est émis soit par devant, soit par derrière. (angles de  $0^\circ$  et  $180^\circ$  par rapport à l'axe). Ainsi, dès que le son arrive diagonalement vers l'avant ou vers le dos, la détermination de la direction droite ou gauche est immédiate. En revanche, on consta-

*Le principe général qui enveloppe la capacité de localisation auditive est bien simple : étant donné une source acoustique, chaque oreille reçoit un signal différent provenant de l'objet sonore. Dans cette différence se trouve l'information qui au niveau du cerveau, est traduite sous forme de coordonnées spatiales déterminant la position de la source.*

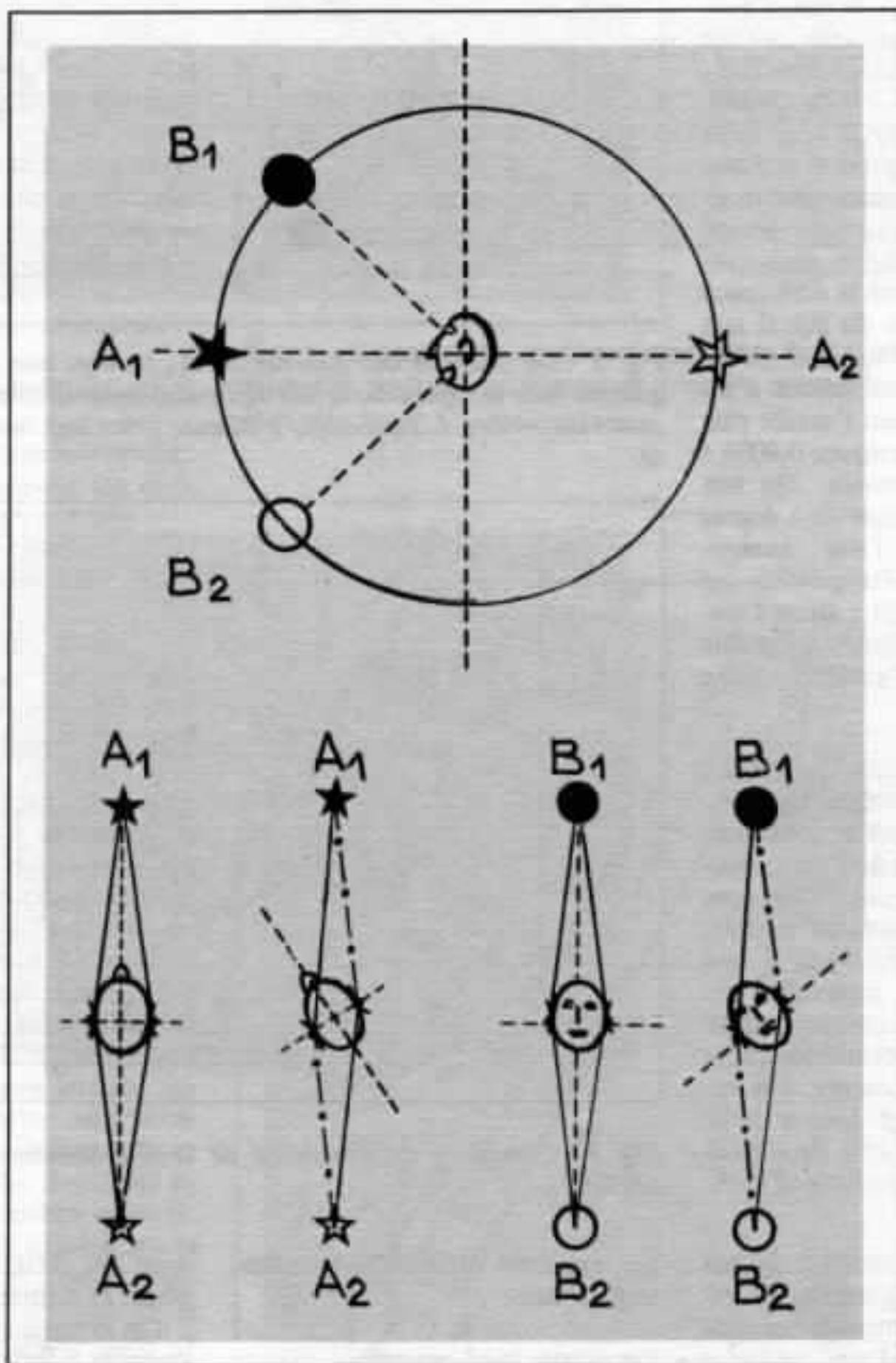
\* Pour Moles et Zeltman la communication est l'action de faire participer un individu situé à une époque et en un point donnés aux expériences stimuli de l'environnement d'un autre individu, situé à une autre époque, en un autre lieu, en utilisant des éléments de connaissance qu'ils ont en commun. Mathématiquement : l'établissement d'une correspondance univoque entre un univers spatio-temporel E, émetteur, et un univers spatio-temporel R récepteur.

lieu d'un terrain dégagé et à lui faire entendre le son d'une cloche ou d'une flûte pendant que l'expérimentateur se déplace dans un rayon de 50 m autour du sujet immobile. Venturi a ainsi remarqué que cet homme (aveugle pour les besoins de l'expérience) est capable de localiser facilement la source quand elle est placée perpendiculairement à l'axe de sa propre tête.

D'autre part, le sujet contraint à rester la tête immobile, différencie avec difficultés la provenance

de des confusions lorsqu'il s'agit de déterminer la position frontale ou dorsale. Ces problèmes disparaissent quand on permet au sujet de bouger la tête comme il le désire (Fig. 2 et 3).

Venturi a conclu que la différence d'intensité relative des sons arrivant aux deux oreilles était suffisante pour expliquer le phénomène de localisation spatiale. Cette affirmation s'est révélée inexacte à la suite des nouvelles expériences achevées progressivement en plusieurs pays de l'Euro-



*Fig. 2 - La position des sources  $A_1$ - $A_2$  et  $B_1$ - $B_2$  détermine des situations de confusion dans le processus de localisation spatiale. La mobilité de la tête permet enfin, la résolution du problème.*

pe.

Lord Rayleigh (1907) a mis en évidence, pour la première fois, l'importance de la combinaison du décalage dans le temps d'arrivée d'un signal aux deux oreilles avec les caractéristiques directionnelles de chaque oreille individuellement. A ce sujet nous nous rapportons aux figures 4 et 5 qui expriment les données que nous manipulons aujourd'hui. Si on regarde le phénomène exclusivement sous l'angle de la différence du temps d'arrivée du signal aux deux oreilles, on s'aperçoit qu'un son provenant directement d'un côté de la tête atteint l'oreille placée sur ce côté quelques 0,0005 s avant l'oreille opposée. Un son arrivant sous un angle de 5 degrés par rapport à l'axe antéro-postérieur de la tête produit un décalage de 0,00004 s entre l'instant d'arrivée de l'onde à l'oreille gauche et à l'oreille droite (Fig. 6).

Lors de la Première Guerre, en France et en Allemagne les laboratoires de recherche se sont intéressés à la capacité de l'oreille humaine à percevoir ces différences de temps, extrêmement petites. Les résultats expérimentaux ont montré que des intervalles de l'ordre de 0,0001 s correspondent aux performances pratiques de localisation. Bien entendu, ces intervalles sont trop courts pour être perçus sous forme de stimuli séparés par notre système d'audition binaurculaire.

Etant donné l'insuffisance des interprétations strictement physiques, les grandes orientations de recherche montrent une tendance vers l'étude approfondie du fonctionnement du système nerveux à propos du problème de la localisation auditive.

C'est-à-dire qu'une fois de plus nous nous trouvons face à un processus complexe qui doit être analysé avec un critère très large et dont les petites constituantes forment un réseau indissociable

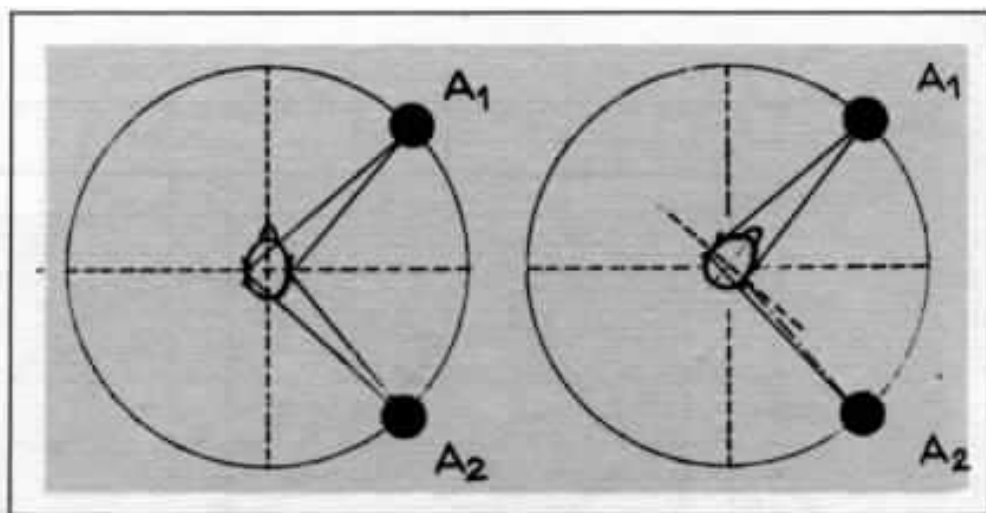


Fig. 3 - La position des sources  $A_1$ - $A_2$  permet une localisation droit-gauche mais le sujet trouve des difficultés pour déterminer l'orientation avant ou arrière. L'équivoque s'élimine grâce aux mouvements de la tête.

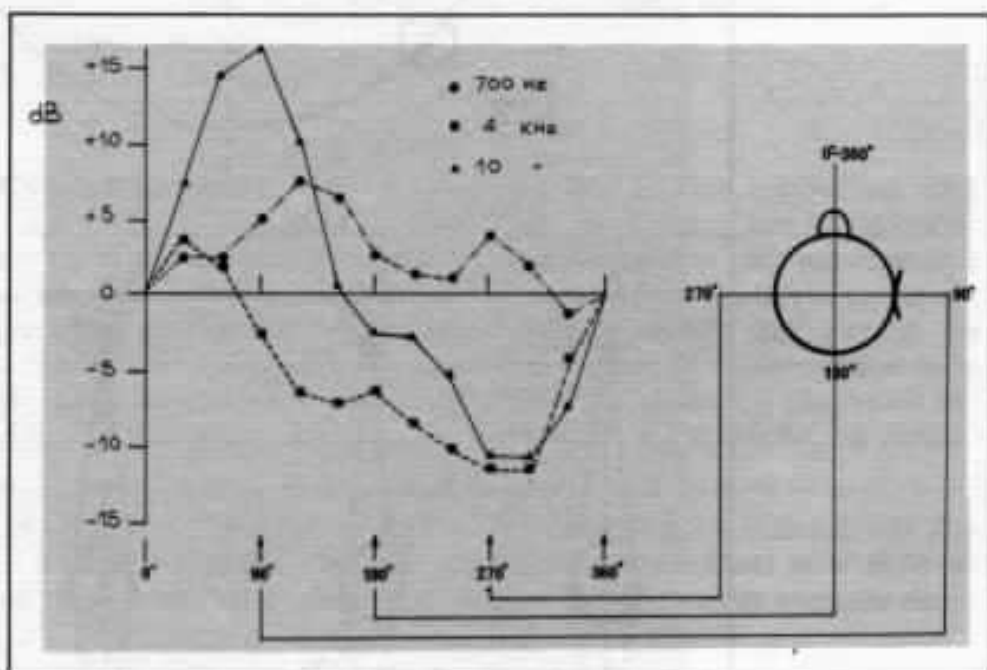


Fig. 4 - Condition de directivité de la tête humaine rapportée à une oreille.

qui exige un effort d'interprétation globale.

#### Les études fondamentales

Classiquement on admet deux formes principales d'étude de l'audition binaurale (Menzio P.).

— utilisation des stimulations naturelles, arrivant aux deux oreilles en concordance de phase ou avec des différences de phase et d'intensité variant selon leur position spatiale.

— utilisation des stimulations

avec des différences de temps de phase et d'intensité.

On remarque que pour des fréquences inférieures à 1000 Hz, les différences de phase (qui se traduisent par un décalage du temps) jouent un rôle de premier ordre, expliqué par le fait que dans cette bande, les impulsions nerveuses reproduisent la fréquence sonore. Les sons de haute fréquence se montrent donc incapables de donner des renseignements valables au sens de l'orientation

acoustique à travers le seul moyen de la phase.

Pour leur part les *rappports d'intensité* ont une grande importance pour les hautes fréquences, tandis qu'ils ne sont pas intéressants pour la localisation des sources émettant à basse fréquence.

En résumé, Seyers et Cherry ont exprimé dans les points suivants les différences physiques vérifiées au niveau des tympans lors de l'écoute binaurale :

- Différence de temps interaurale
- Différence d'amplitude relative interaurale
- Différence spatiale interaurale cette dernière propriété est dérivée des phénomènes suivants :
  - diffraction de la tête
  - propriétés réfléchives de l'environnement
  - différence entre les angles d'incidence des fronts d'onde arrivant aux oreilles ayant pour conséquence des variations d'impédance acoustique (Fig. 7).

Les auteurs ajoutent à ces facteurs physiques les capacités de mobilité de la tête qui contribuent au travail de localisation et aussi l'aide apportée par l'apprentissage des manifestations acoustiques des situations caractérisées par l'intégration des propriétés de l'environnement. C'est ainsi, que nous savons, les yeux fermés, faire la différence entre une situation donnée par l'ambiance d'une pièce fermée, et une deuxième situation avec une fenêtre ouverte. La différence entre «intérieur» et «extérieur» est aussi stockée dans notre mémoire acoustique et la perception de l'espace, dans ce sens complet, apparaît lorsque certaines conditions nouvelles déclenchent le processus de *reconnaissance*.

#### Le niveau nerveux

Evidemment les expériences concernant cette voie de recherche sont basées sur des modèles animaux.

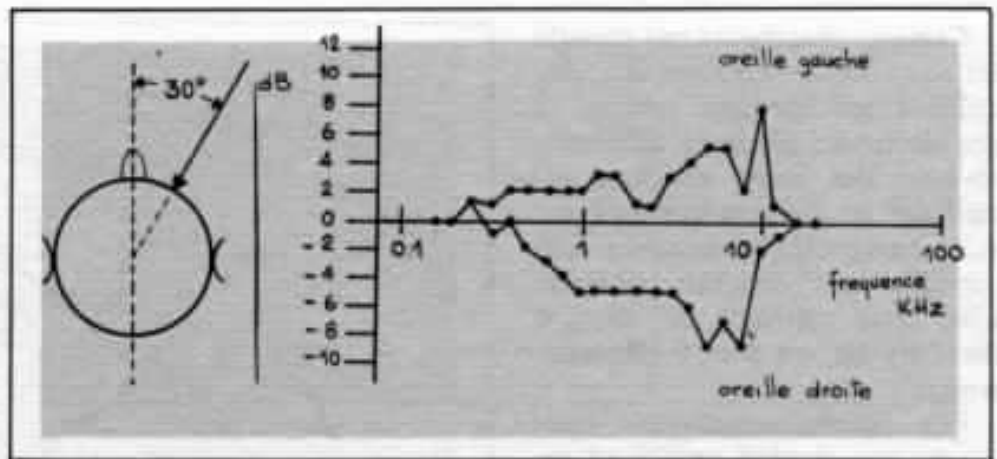


Fig. 5 - Caractéristiques directionnelles de la tête humaine par rapport à un son arrivant au récepteur avec un angle d'incidence de 30° (C Plenge).

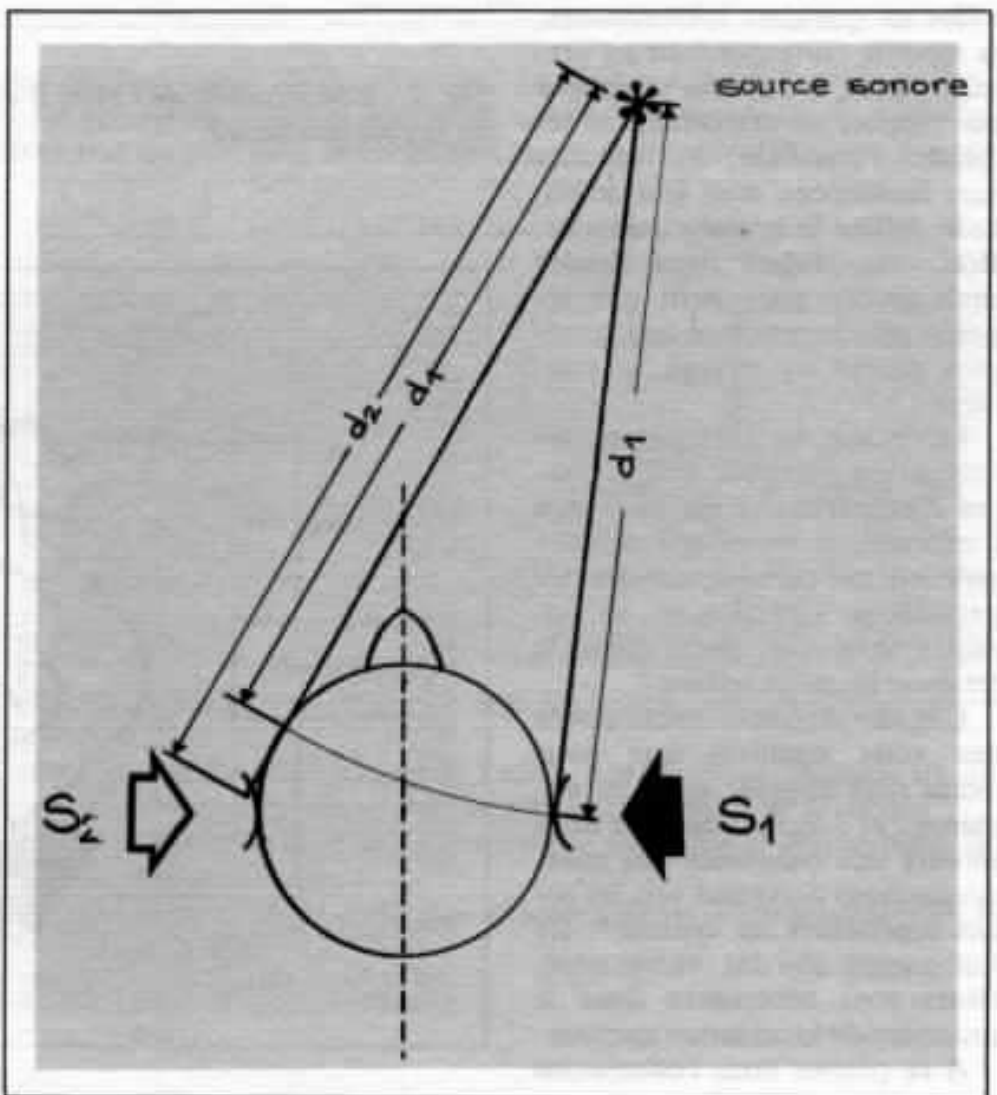


Fig. 6 - Décalage dans le temps d'arrivée d'un signal aux deux oreilles.

Certains chercheurs ont stimulé les deux oreilles du sujet avec des casques spécialement conçus et des électrodes placées à différents niveaux des voies auditives recueillent les signaux qui sont ensuite enregistrés et analysés. Un exemple des résultats obtenus avec cette méthode est montré dans les figures 8 et 9 (Rosenzweig).

Les expérimentateurs concluent que chaque oreille est représentée d'une manière plus importante dans la région du cerveau qui lui est opposée (plutôt que dans la région directement correspondante). Lors des expériences au cours desquelles on a fait varier l'intervalle de temps entre des stimuli droit et gauche, on a constaté que pour des intervalles de quelques millisecondes, la réponse correspondant au premier signal, a un effet inhibiteur par rapport au deuxième. En réduisant l'intervalle, les réponses sont fusionnées, mais leur amplitude reflète le premier stimulus. Bref, des stimuli dans l'ordre droit-gauche produisent une réponse plus importante dans la région gauche du cerveau, et vice-versa.

Le résultat est analogue si l'investigation porte sur les différences d'amplitude, c'est ainsi que l'information au niveau nerveux reflète d'une certaine manière, les paramètres caractérisant les stimuli : intervalle, ordre dans le temps et intensité relative.

L'étude anatomo-fonctionnelle des voies auditives que nous avons déjà abordée dans les numéros 2 et 3 de l'Audiophile nous montre une croissance des interconnexions nerveuses vers les zones supérieures du système\*. Ce fait suggère que des centres supérieurs sont nécessaires dans le processus de localisation spatiale.

A ce propos nous connaissons des expériences qui mettent en évidence l'importance du cortex

\* Voir l'Audiophile N° 3 page 75.

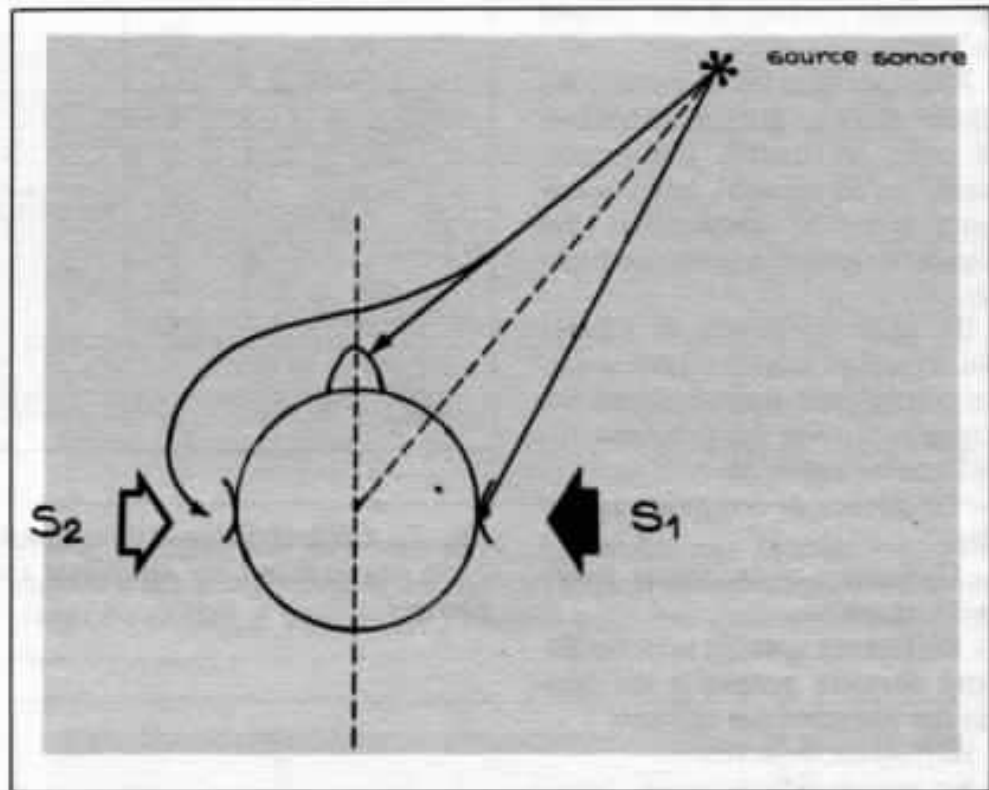


Fig. 7 - Contribution de l'effet d'écran de la tête au phénomène d'audition binaurculaire.

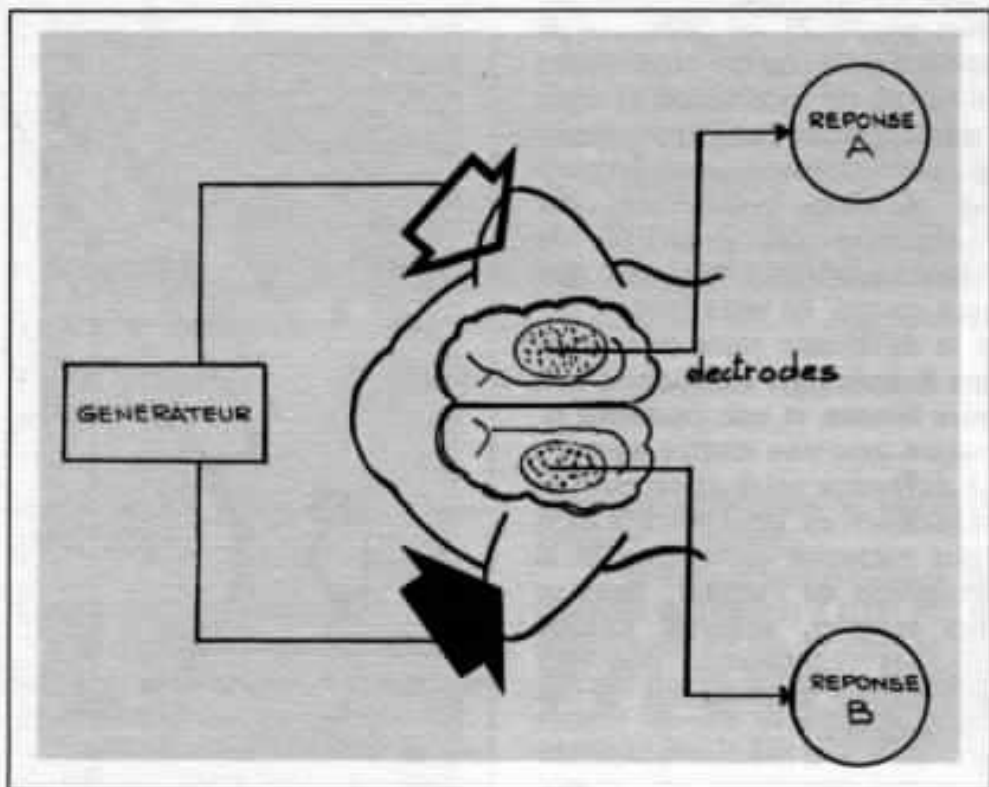


Fig. 8 - Etude de la réponse du cortex cérébral (mod. de Rosenzweig) Méthode de travail.



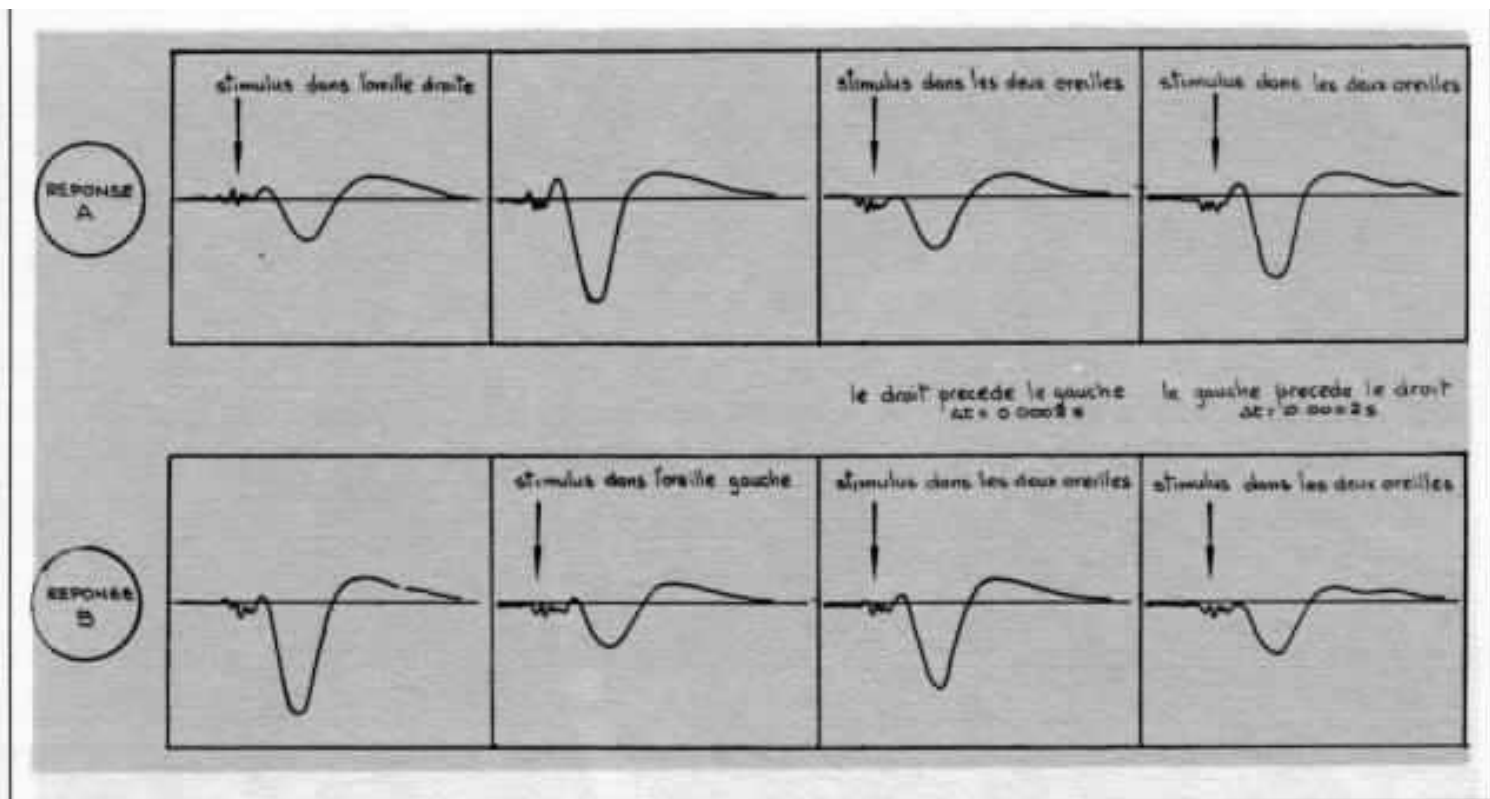


Fig. 9 - Etude de la réponse du cortex cérébral (Mod. de Rosenzweig). Lorsqu'on stimule l'oreille droite, la réponse est plus importante dans le côté gauche du cortex et vice-versa. Quand on stimule les deux oreilles à l'aide des clics présentés successivement avec un intervalle de temps très court, le premier signal est « prioritaire » par rapport au deuxième.

cérébral. Des ablations bilatérales des zones de projection corticale sont à l'origine de pertes des capacités de localisation auditive. Tout en signalant que plusieurs auteurs ne négligent pas le rôle des étages nerveux inférieurs dans la tâche de détermination de la position d'une source sonore (Fig. 10).

Tout au moins, les signaux qui, provenant d'une oreille, montent vers les zones supérieures, ont une probabilité croissante de trouver des impulsions nerveuses provenant de l'autre oreille. La position de la source par rapport au sujet détermine alors une divergence dans le fonctionnement des groupes cellulaires intervenant dans le phénomène sensoriel, provoquée par la convergence des signaux. Le rapport d'activité est ainsi interprété par le cerveau sous forme de coordonnées spatiales de la source

Nous sommes maintenant en

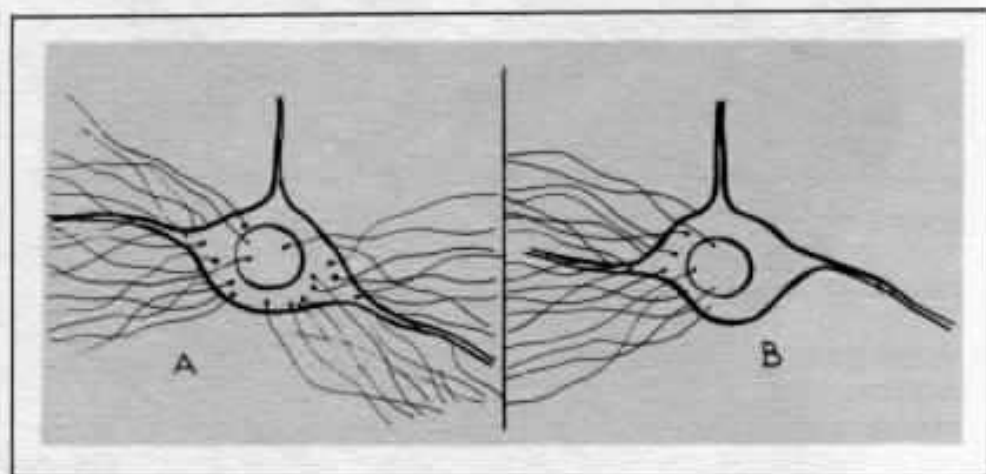


Fig. 10 - A) Cellule normale de l'olive. Les fibres qui montent du noyau cochléaire sont reçues dans les pôles dendritiques de la cellule. B) La destruction d'un noyau cochléaire provoque la dégénération des fibres correspondantes. L'expérience montre, ainsi, que chaque pôle reçoit uniquement les fibres d'une oreille.

mesure de mieux comprendre l'établissement d'un espace auditif autour de nous, et l'interven-

tion de cette modalité perceptive dans les conditions d'écoute normales.